

技術文化論叢

第10号 (2007年)

東京工業大学技術構造分析講座

『技術文化論叢』第10号(2007年)

目次

論文

- 前期量子論形成期の正準変換とハミルトン・ヤコビ理論 中根美知代 1
- ヨハン・ベルヌーイの力学研究における“保存則”と“加速法則”
野澤聡 14

研究ノート

- 東京工業大学における女子学生:その歴史 片桐麻衣佳 41

2006年度 博士・修士論文梗概

<博士論文梗概>

- 冷戦期のアメリカの対日外交政策と日本への技術導入
—読売新聞グループと日本のテレビジョン放送及び原子力導入: 1945年-1956年—
奥田謙造 65
- 国家プロジェクトによる輸送技術開発の歴史的分析 加治木紳哉 85
- 19世紀における高圧蒸気原動機の発展に関する研究 小林学 106

<修士論文梗概>

- 本溪鋼鐵会社の生産構造の形成に関する歴史的研究
—日本から中国へ継承された一企業の事例— 木場篤彦 125

論文

前期量子論形成期の正準変換とハミルトン・ヤコビ理論

中根美知代*

1. はじめに

20世紀初頭の量子論の成立は、物理学の大きな転換点であり、その過程の分析は物理学史のもっとも重要な研究課題の一つである。そこでは、ハミルトン・ヤコビ理論と名づけられる理論体系に含まれる数学的手法や概念が効果的に使われていたことはよく知られている。前期量子論の形成に大きく寄与し、また多くの研究者に影響を及ぼした Arnold Sommerfeld (1858-1951) は、1919年の『原子構造とスペクトル線』の付録で、「力学のハミルトン・ヤコビの方法は、天体力学の摂動論や数学的な興味の対象であり、物理では最近までほとんど必要としていなかったが」と切り出し、この方法を解説している。⁽¹⁾ 今後量子論の研究を進めていくためにはハミルトン・ヤコビ理論の習得が不可欠である、という認識にたつてのものであろう。したがって、量子論の形成過程の研究には、この理論を含めた形での問題設定が欠かせないといえよう。

ハミルトン・ヤコビ理論にはさまざまな要素が含まれているが、その骨子は、運動方程式が、 H を全エネルギー、 (q_1, \dots, q_n) を質点の位置、 (p_1, \dots, p_n) を運動量として、正準方程式と呼ばれる常微分方程式系

$$\frac{dq_i}{dt} = \frac{\partial H}{\partial p_i}, \quad \frac{dp_i}{dt} = -\frac{\partial H}{\partial q_i}, \quad (1)$$

で書かれ、これに伴う偏微分方程式

$$\frac{\partial S}{\partial t} + H\left(t, q_1, \dots, q_n, \frac{\partial S}{\partial q_1}, \dots, \frac{\partial S}{\partial q_n}\right) = 0, \quad (2)$$

との関係を考察しながら、議論が進められていくことであろう。これは、William Rowan Hamilton (1805-1865) が 1834-35 年にこの理論の原型を提示して以来、今日の教科書にいたるまで一貫していることで、ハミルトン・ヤコビ理論を規定する考え方といってよい。⁽²⁾ 1階非線形偏微分方程式 (2) は、求めようとする方程式の解 S が直接含まれないという特徴があるが、このようなタイプの偏微分方程式をハミルトン・ヤコビ方程式と呼んでいる。力学的な意味を払拭し、 H を変数 $(q_1, \dots, q_n, p_1, \dots, p_n, t)$ に依存する関数とみなして、この理論を純粋に数学的な視点から論じることにも Jacobi 以来なされており、正準方程式に伴う不変量や周期解の性質などが考察されてきた。これらの性質は、正準方程式を構成する、正準変数と呼ばれる変数によって表現されることが多い。ハミルトン関数と呼ばれる H や正準変数に適当な意味づけを与えれば、この方程式はいろいろな物理系を表現することができる。ある物理系が正準方程式で記述できれば、その系は数学的な考察から導かれた結果に対応する物理的な性質を持っている、ということになる。

* 立教大学理学部 email: michiyo.nakane@nifty.com

しかも、正準方程式(1)は、その形を保ったまま、別の変数の間の関係を表す微分方程式に変換することができる。正準変換と呼ばれるこの操作により、新たに導かれた正準方程式や正準変数も、やはり正準方程式固有の性質を持つことになる。もし、ある物理系に対して、位置や運動量よりも適切にその系の状態を記述する変数があり、それが正準変数になるのであれば、大変都合よく議論が進む。前期量子論において、Karl Schwarzschild (1873 - 1916)⁽³⁾ と Paul Epstein (1871 - 1939)⁽⁴⁾ が導入した作用-角変数はそのような変数であった。そして、作用-角変数という正準変数が導入された結果、周期的あるいは多重周期的な系に対する量子論の問題がハミルトン・ヤコビの方法と関連付けられるようになった。Max Jammer は『量子力学史』のなかで、「Hamiltonの方法というのがまるで量子力学的な問題を扱うためにわざわざつくられたものであるかのように見えるのは、彼らの仕事によるのである」と評価している。⁽⁵⁾

このような有効な正準変数を導くためには、正準変換の理論が確立していることが不可欠である。Jammer の評価にしたがえば、正準変換の概念こそハミルトン・ヤコビ理論が前期量子論とかかわっていく上での決定的な要素の一つといっても過言ではない。この正準変換という考え方は、いつ頃、どのようにして出てきたのだろうか。

Schwarzschild や Epstein をはじめとする前期量子論にかかわった研究者たちは、正準変換を論じるとき、Carl V. L. Charlier (1862-1934) の教科書『天の力学』を引用している。⁽⁶⁾ 19世紀後半、ハミルトン・ヤコビ理論がもっとも積極的に使われていたのは天体力学の分野であったから、正準変換の理論もまた、この分野で育まれてきたと予想される。しかし、正準変換の歴史はほとんど研究されていない。どこを出発点にとって論じ始めるのが適切なのかも、まだ把握できていない段階である。そこで、今回は、Henri Poincaré (1854-1912) の『天体力学の新しい方法』での記述を確認することから始めていきたい。⁽⁷⁾ 19世紀の天体力学の集大成ともいえるこの著書を繙けば、19世紀末にどの程度の理解がなされていたかが判断できるからである。そして、そこで問題になっている、正準変換とハミルトン・ヤコビ方程式の完全解を結びつける発想がどのように展開されていくかを分析していく。その過程において、当時の天体力学の第一人者である Poincaré の正準変換への理解がどの程度の水準であったかを評価する。そして、Charlier が Poincaré の成果の上でなした寄与を明らかにする。Charlier の成果が具体的に示されれば、Schwarzschild らの独創性が明らかになり、前期量子論の形成を論じるうえでも、重要な論点が見えてくるだろう。

2. Poincaré 『天体力学の新しい方法』における正準変換

2-1 Poincaré による「Jacobi の定理」

Poincaré は、1892年に出版した『天体力学の新しい方法』の冒頭で、運動方程式を2階常微分方程式から正準形に直ちに書き換えている。彼の場合、保存系を考えているので、関数 H は t を陽に含まず、質点の位置と運動量 $(q_1, \dots, q_n, p_1, \dots, p_n)$ のみに依存している。以降、時間に依存しないハミルトン関数を持つ正準方程式を(1-b)、それに伴うハミルトン・ヤコビ方程式を(2-b)と書こう。なお、Poincaré をはじめとして、本論文でとりあげる研究者自身が用いた記号は、各自まちまち

である。議論を見通しよく進めるため、本論文では、意味を損ねない程度に記号を統一したうえで、彼らの成果を紹介することにする。

天体力学者としての地位を確立した 1890 年論文で、Poincaré は、正準方程式を活用し、いくつもの事実を明らかにしてきた。⁽⁸⁾ この有力な方程式を一貫して用いて問題を解決していくにあたり、Poincaré はそれまで知られていた正準方程式にかかわる性質を紹介することから論じ始める。

まず、Poincaré は「Jacobi の第 1 定理」と称して、方程式 (1 - b) の一般解は、これに伴うハミルトン・ヤコビ方程式の完全解 $S = S(q_1, \dots, q_n; h_1, \dots, h_n)$ (h_1, \dots, h_n は任意定数) を求め

$$\frac{\partial S}{\partial q_i} = p_i \quad (i = 1, \dots, n) \quad \frac{\partial S}{\partial h_j} = h'_j, \quad (j = 2, \dots, n) \quad \frac{\partial S}{\partial h_1} = t + h'_1, \quad (3)$$

とおくことにより与えられることを紹介する[†]。ここで、 h'_1, \dots, h'_n は新たに導入した任意定数である。 h_i と識別する必要上、ダッシュの記号をつけたのであって、 h_i を時間微分したものではない。正準方程式という常微分方程式系を偏微分方程式に帰着する方法は、1842-43 年になされた Carl G. Jacobi(1804-1851) の『力学講義』第 20 課に確かに示されている。⁽⁹⁾

この特徴的な解法に続いて Poincaré が重要と考えた正準方程式の性質は、正準変換であった。彼は、関数 $S = S(p_1, \dots, p_n; h_1, \dots, h_n)$ に対し、旧変数 $(q_1, \dots, q_n; p_1, \dots, p_n)$ から新変数 $(h_1, \dots, h_n; h'_1, \dots, h'_n)$ の変換が

$$q_i = \frac{\partial S}{\partial p_i}, \quad h'_i = \frac{\partial S}{\partial h_i} \quad (4 - a)$$

という関係で定義されるならば、新しい変数も関数 $H(h_1, \dots, h_n; h'_1, \dots, h'_n)$ について正準方程式をみたすことを「Jacobi の第 2 定理」として紹介している。そして、正準変換の例として直交変換をあげた後、一般的な規則に戻り、 S が $(q_1, \dots, q_n; h_1, \dots, h_n)$ の関数で、関係式

$$p_i = \frac{\partial S}{\partial q_i}, \quad h'_i = \frac{\partial S}{\partial h_i} \quad (4 - b)$$

がみたされるならば、やはり旧変数から新変数への正準変換が定義できるとして、Poincaré によれば、Jacobi がこれを示したことになっている。

Poincaré は、関数 S について何も述べてはいない。⁽¹⁰⁾ しかし、「Jacobi の第 1 定理」で偏微分方程式 (2 - b) の完全解を S と書いているのだから、「第 2 定理」での S もそのように考えるほうが自然であろう。実際、すぐ後に見るように、Poincaré は、運動方程式の正準形に伴うハミルトン・ヤコビ方程式の完全解を求めて正準変換し、ドルネー変数による正準形の方程式を導いている。

ところが、第 2 定理に対応する Jacobi 自身の記述は、Poincaré のものとはや

[†] Jacobi は、保存系を扱う際には、その系の全エネルギーを任意定数の一つとみなし、それを他の任意定数と区別して扱っている。ここでは h_1 が全エネルギーに対応しており、Jacobi は (3) 式の第 3 式に相当する関係を全エネルギーという性質を使って導き出していた。

や異なっている。Jacobi は 1838 年論文で、正準変換にかかわる定理を述べた。そして 1890 年に公刊された遺稿“摂動論について”のなかで、この定理の証明が与えられている。⁽¹¹⁾ これらの著作の中で述べられている定理とは、関数 $\psi = \psi(p_1, \dots, p_n; h'_1, \dots, h'_n)$ の間に

$$\frac{\partial \psi}{\partial p_i} = -q_i, \quad h_i = \frac{\partial \psi}{\partial h'_i} \quad (5-a)$$

という関係があれば正準変換が引き起こされ、(1-b) 式は

$$\frac{dh_i}{dt} = \frac{\partial H}{\partial h'_i}, \quad \frac{dh'_i}{dt} = -\frac{\partial H}{\partial h_i}, \quad (5-b)$$

と変換される、となっている。

確かに Jacobi はこの定理で、正準変換をもたらす変数変換について述べている。しかし、Jacobi 自身の定理と Poincaré のいう「Jacobi の第 2 定理」は同じものとは言いがたい。見通しよく議論をすすめるため、今日の力学の教科書の書き方にならい、正準方程式 (1) あるいは (1-b) において、 q_i と同じ役割を果たす要素を座標、 p_i と同じ役割を担うものを運動量と呼ぶことにしよう。まず、Poincaré による (4-a) および (4-b) 式と Jacobi の (5-a) 式を比較してみると、(5-a) 式には旧座標と旧運動量の関係を示す式にマイナスの符号がついているが、Poincaré のものにはない。しかも、Jacobi では変換を引き起こす関数 ψ が、旧運動量と新運動量 $(p_1, \dots, p_n; h'_1, \dots, h'_n)$ の関数なのに対し、Poincaré の場合は、 S が当初は旧運動量と新座標 $(p_1, \dots, p_n; h_1, \dots, h_n)$ の関数、最終的には旧座標と新座標 $(q_1, \dots, q_n; h_1, \dots, h_n)$ の関数になっている。また、Jacobi が (1-b) を正準変換した後の方程式 (5-b) を示しているのに対し、Poincaré は一般的な場合に対して、変換後の正準方程式を示していない。

より重要なのは変換をひきおこす関数 ψ の実態の認識である。Jacobi は、 ψ は旧運動量と新運動量の関数である以上のことを言っていない。仮に、 ψ が旧座標と新座標の関数ならば、あるいは、ハミルトン・ヤコビ方程式の完全解 $S = S(q_1, \dots, q_n; h_1, \dots, h_n)$ との関係は Jacobi は思いついたかもしれないが、実際にはそうっていない。しかも Jacobi は、この定理の前後でハミルトン・ヤコビ方程式の完全解について論じるとき、それを W と記号づけ、任意関数 ψ と明確に区別している。Jacobi は、古い変数と新しい変数がある関数によって (5-a) 式で結びつけられるのなら、その変数変換は方程式の正準形を保つことを主張しているだけなのである。その関数がハミルトン・ヤコビ方程式の完全解である、とは言っていないし、その関数を求めて正準変換を例示してもいない。すなわち、ハミルトン・ヤコビ方程式を解いて正準変換を見つけてくるというのは、Poincaré 自身の発見とみなさざるを得ない。

Jacobi の定理の紹介という形で証明をつけず、Poincaré は淡々と記述を進めていく。その過程で、運動方程式の一般解を与える (3) 式と正準変数間の関係を与える (4-b) 式がきわめて類似したものになっていることが示されると、読者は自然に、Jacobi がハミルトン・ヤコビ方程式の完全解が正準変換を引き起こすとの理解に達した、としてしまうだろう。Poincaré が何かの意図をもって、Jacobi

の成果を書き換えたのか、それとも彼にはありがちなケアレス・ミスなのかはこれだけの記述では判断できない。しかし、とにかく、ハミルトン・ヤコビ方程式と正準変換が関係づけられてしまったのである。

2-2 ドロネー変数による正準方程式の導出

Poincaré は Jacobi の方法をケプラー運動に適用し、使い方を例示する。彼はまず、固定した重力中心のまわりを質量 M の質点が運動しているとし、その運動を

$$H = \frac{p_1^2 + p_2^2 + p_3^2}{2} - \frac{2M}{\sqrt{q_1^2 + q_2^2 + q_3^2}} \quad (*)$$

とする自由度 6 の正準方程式で記述した。この H を持つ正準方程式を $(1-c)$ としよう。正準方程式 $(1-c)$ に伴うハミルトン・ヤコビ方程式を解き、任意定数を適当に変換することにより、彼はその完全解を $S = S(q_1, q_2, q_3, G, \Theta, L)$ と表した。⁽¹²⁾ 「Jacobi の第 1 定理」により、 $(1-c)$ の一般解は

$$p_i = \frac{\partial S}{\partial q_i} \quad (i = 1, 2, 3), \quad l = \frac{\partial S}{\partial L}, \quad g = \frac{\partial S}{\partial G}, \quad \theta = \frac{\partial S}{\partial \Theta}, \quad (6)$$

となる。

Poincaré は、ここで現れた任意定数が天体力学で習慣的に使われる変数として意味づけられるとし、 a, e, i を動体がなす楕円軌道の長軸、離心率、軌道の傾斜角とすると

$$L = \sqrt{a}, \quad G = \sqrt{a(1-e^2)}, \quad \Theta = G \cos i,$$

となり、 θ は昇交点の経度、 $g + \theta$ は近点引数、 l は平均近点離角となることを指摘した。確かに、ケプラー問題を「Jacobi の第 1 定理」で解き、そこで登場する任意定数にこのような意味を与えることは、François Tisserand (1845 - 1896) による当時の標準的な教科書『天体力学』(全 4 巻) 第 1 巻第 8 章第 41 項でも示されている。⁽¹³⁾ Poincaré とすれば、自然なおきかえであったのだろう。

次に Poincaré は、 H が運動エネルギーとポテンシャル関数 $V = V(q_1, \dots, q_n)$ の和になった場合を考える。彼は、方程式 (6) に着目し、彼のいうところの「Jacobi の第 2 定理」により、先に出てきた、旧座標と新運動量のある関数 $S = S(q_1, q_2, q_3, G, \Theta, L)$ 、すなわちハミルトン・ヤコビ方程式の完全解が旧変数 $(q_1, q_2, q_3, p_1, p_2, p_3)$ から新変数 $(g, \theta, l, G, \Theta, L)$ への正準変換を引き起こすとした。その結果、自由度 6 の正準方程式は

$$\begin{cases} \frac{dG}{dt} = -\frac{\partial H}{\partial g}, & \frac{d\Theta}{dt} = -\frac{\partial H}{\partial \theta}, & \frac{dL}{dt} = -\frac{\partial H}{\partial l}, \\ \frac{dg}{dt} = \frac{\partial H}{\partial G}, & \frac{d\theta}{dt} = \frac{\partial H}{\partial \Theta}, & \frac{dl}{dt} = \frac{\partial H}{\partial L} \end{cases} \quad (D)$$

に帰着されることになる。この方程式は、1860 年、Charles Delaunay (1816-1872) が月の運動を研究する際に導入したものである。⁽¹⁴⁾ 今日では正準変数 $g, \theta, l, G,$

Θ, L をドロネー変数と呼んでいる。⁽¹⁵⁾

Delaunay はこの方程式を、いわゆるニュートン方程式から直接を導いている。Tisserand の教科書でも、同様の導入の仕方がとられている。正準変換を与える関数を具体的に示すことにより、 (q_i, p_i) を変数とする運動方程式 $(1-a)$ と方程式 (D) を関係付けて提示したのは、Poincaré の成果であった。そして、 (D) 式は、Poincaré が唯一示した変換後の方程式である。

正準変換を引き起こす関数が、もとの正準方程式に対応するハミルトン・ヤコビ方程式の解であることに気づいたのは、確かに Poincaré の慧眼である。しかし、それは Jacobi の結果をかなり強引に改ざんしたもので、実は証明されていない。そうではあっても、彼が導いた正準方程式 (D) は正しい。このような状態にあって、行き詰ったためであろうか、Poincaré はハミルトン・ヤコビ方程式と正準変換の関係についての議論をここで一度打ち切る。そして、正準変換を与える関数とハミルトン・ヤコビ方程式の関係は、ついに彼の手で証明されることはなかった。⁽¹⁶⁾

3. Charlier の成果

Poincaré の記述は全体として大変混乱しており、上で見たのはその一例にすぎない。Poincaré の成果を整理して紹介したドイツ語による教科書、ということで広く読まれたのが Charlier の『天の力学』であった。実際に Poincaré と文通し、彼の影響を強く受けた Charlier であったが、この 2 巻本の第 1 章末から第 2 章にかけての「Jacobi の第 1 定理」による正準方程式の解法に関する記述には、Poincaré が強調しなかった要素が盛り込まれていた。

一般に偏微分方程式を解くことは常微分方程式系を解くことよりは難しいが、ハミルトン・ヤコビ方程式が変数分離形になれば容易に解ける、というのが Jacobi の指摘だった。これを受けて Paul Stäckel (1862-1919) は 1891 年から 1901 年にかけて、ハミルトン・ヤコビ方程式が変数分離できるような系の運動は多重周期的であることを証明し、このような系の積分を具体的に与えていたのである。⁽¹⁷⁾ Charlier は、多くの場合、天体力学で扱う運動は多重周期的になるということに注目し、Stäckel の求めた積分を実際に使い、時にはそれに修正項を加えながら議論を進めている。これは Poincaré には見られない特徴である。

正準変換についてはかなり議論が進んだ後、『天の力学』第 2 巻第 11 章で論じられている。Charlier は Poincaré 同様、1890 年に Jacobi が示した定理を取り上げる。「以下のような定理を Jacobi が証明している」としつつ、Charlier はそこで、微妙ではあるが本質的な修正を行なった。すなわち、正準方程式 $(1-b)$ に対して、関数 $\psi(q_1, \dots, q_n; h_1, \dots, h_n)$ があり、

$$p_i = \frac{\partial S}{\partial q_i}, \quad h'_i = -\frac{\partial S}{\partial h_i}, \quad (7)$$

という関係をみたますれば、旧変数 $(q_1, \dots, q_n; p_1, \dots, p_n)$ から新変数 $(h_1, \dots, h_n; h'_1, \dots, h'_n)$ へ変数変換は正準形を保ち、 $(1-b)$ 式は、 $(5-b)$ 式に変換される、という定理を Jacobi が述べたとしているのである。

Jacobi は旧運動量と新運動量の関数を、Charlier は旧座標と新座標の関数を変換を引き起こす関数として与えている。しかし、「Charlier による Jacobi の定理」

は、Jacobi 自身の定理の証明とほぼ同様に、登場する関係式を適当は変数や任意定数で微分することにより、Charlier が証明している。おそらく Charlier は、ハミルトン・ヤコビ方程式の完全解と正準変換の関係を『新しい方法』から示唆されて、このような関数 ψ をとり、それとともに (5-a) 式を (7) 式に変更したのであろう。

そして、Charlier は、 H が t を陽に含んでいる正準方程式 (1) について論じている。このとき、変換を引き起こす関数は t にも依存、すなわち $\psi = \psi(q_1, \dots, q_n; h_1, \dots, h_n, t)$ となるが、これが関係式 (7) を満たせば、正準方程式 (1) は、

$$\frac{dh_i}{dt} = \frac{\partial R}{\partial h'_i}, \quad \frac{dh'_i}{dt} = -\frac{\partial R}{\partial h_i}, \quad R = H + \frac{\partial \psi}{\partial t} \quad (8)$$

に変換されることを、Charlier はやはり関係式を適当に微分していくことにより証明した。Jacobi は関数 ψ が t に依存する場合を扱っていないから、確かにこの定理は Charlier 自身の手による拡張である。⁽¹⁸⁾

引き続き Charlier は、

$$H \left(t, q_1, \dots, q_n, \frac{\partial S}{\partial q_1}, \dots, \frac{\partial S}{\partial q_n} \right) + \frac{\partial S}{\partial t} = 0, \quad (9)$$

の完全解 $S = S(q_1, \dots, q_n; h_1, \dots, h_n, t)$ が

$$p_i = \frac{\partial S}{\partial q_i}, \quad h'_i = -\frac{\partial S}{\partial h_i} \quad (i = 1, \dots, n) \quad (10)$$

とおくことにより、正準方程式 (1) の解を与えることを指摘する。 h_1, \dots, h_n は偏微分方程式の完全解を与えるときに導入された任意定数であり、 h'_1, \dots, h'_n は、正準方程式の解を与えるときに新たに導入された任意定数である。先に指摘したとおり、同様の趣旨の「Jacobi の第 1 定理」は『天の力学』第 1 巻ですでに述べられているが、そこでは (10) 式第 2 式に相当する式に、マイナス符号はついていなかった。しかし、 h'_i は任意定数であるから、マイナス符号をつけても定理の意味を損なうものではない。Charlier がこの定理を再度述べたのは、このことを注意するためであろう。そして、これらの任意定数を新座標の位置と運動量とみなせば、ハミルトン・ヤコビ方程式の完全解 S が旧変数 $(q_1, \dots, q_n, p_1, \dots, p_n)$ から新変数 $(h_1, \dots, h_n, h'_1, \dots, h'_n)$ への正準変換を与えていることを Charlier は指摘した。Poincaré の発見した関係は大筋としては正しかったのである。

Charlier はこの定理を使って、次のように正準変換をする。正準方程式 (1) に対して、ハミルトン関数 H_1 が時間を陽に含まないような補助的な運動を考える。これに対するハミルトン・ヤコビ方程式およびその解は

$$H_1 \left(q_1, \dots, q_n; \frac{\partial V}{\partial q_1}, \dots, \frac{\partial V}{\partial q_n} \right) + \frac{\partial V}{\partial t} = 0, \quad V = -Ct + W \quad (11)$$

となる。ここで W は t とは独立の任意関数であるから、これを方程式 $C = H_1$ の解とすると、 n 個の任意定数を $\alpha_1, \dots, \alpha_n$ として $W(q_1, \dots, q_n; \alpha_1, \dots, \alpha_n)$ と

書ける。一般に C は $\alpha_1, \dots, \alpha_n$ の関数となる。さて, (11) 式で示された V より対応する正準方程式の解は

$$\frac{\partial V}{\partial q_i} = p_i, \quad \frac{\partial V}{\partial \alpha_i} = -\beta_i, \quad (12)$$

となるが, これから関係式

$$\frac{\partial W}{\partial q_i} = p_i, \quad \frac{\partial W}{\partial \alpha_i} = \frac{\partial C}{\partial \alpha_i} t - \beta_i, \quad (13)$$

が得られる。 W は t に依存しない関数として導入されたが, (11) 式第2式の関係があるので t にも依存するとみなすこともできる。関数 W から正準変換が導かれ, 正準方程式(1)は

$$\frac{d\alpha_i}{dt} = \frac{\partial H}{\partial \varphi_i}, \quad \frac{d\varphi_i}{dt} = -\frac{\partial H}{\partial \alpha_i}, \quad \left(\varphi_i = -\frac{\partial C}{\partial \alpha_i} t + \beta_i \right), \quad (14)$$

という形に変換される。

Charlier は, 当初考えている運動が条件付き周期運動となるならば, φ の t の係数を運動の周期の逆数ととれることを示した。このことにより, φ は平均近点離角に相当する変数となることが示されたのである。この過程で Charlier はまた, α_i が条件付周期運動の解から作られる変数 ξ_i に置き換えられることを示した。こうして, 正準方程式(1)は, $(\varphi_1, \dots, \varphi_n; \xi_1, \dots, \xi_n)$ を変数とする正準方程式に置き換えられることになる。周期的な運動を表すのに都合のいい変数が正準変数になりうることは, Charlier の大きな発見であった。Schwarzschild は Charlier が導入した新しい正準変数から着想を得て作用-角変数という概念を整備し, シュタルク効果の説明に成功したことは, Schwarzschild の1916年論文の引用から跡付けることができる。これこそ量子的な現象を記述するのに適切で, しかも正準方程式を構成する変数だったのである。

引き続き Charlier は, 具体的な問題に対する正準変換を考察していく。その過程で q_i を p_i の関数と捉えている箇所がある。こうした考察を経て彼は, ハミルトン関数の形によっては, 旧座標ではなく旧運動量の関数を正準変換を与える関数としたほうが都合がいい場合もあることに気づいたと思われる。そこで Charlier は, 旧運動量と新運動量の関数で変換を与えた Jacobi の自身の結果を見直し, おそらく座標と運動量で4つの組み合わせを考えたのであろう。Charlier 自身指摘しているように, 正準方程式は q_i, p_i についてまったく対称ではない。しかし, Jacobi の1890年論文での証明を参照することにより, 変換を与える関数とそれに基づく新変数の定義の仕方の関係を, 彼は容易に示すことができたことと察せられる。Charlier は変換を与える関数とその条件を示して『天の力学』第7章第1節を締めくくった。それは旧変数での座標を q_i , 運動量を p_i , 変換後の座標を h_i , 運動量を h'_i とすると, 変換を与える関数が

$$(I) \text{ 旧座標と新座標の関数 } S_1 \text{ の場合 : } p_i = \frac{\partial S_1}{\partial q_i}, \quad h'_i = -\frac{\partial S_1}{\partial h_i}$$

$$(II) \text{ 旧座標と新運動量の関数 } S_2 \text{ の場合 : } p_i = \frac{\partial S_2}{\partial q_i}, \quad h_i = \frac{\partial S_2}{\partial h'_i}$$

$$(III) \text{ 旧運動量と新座標の関数 } S_3 \text{ の場合 : } q_i = -\frac{\partial S_3}{\partial p_i}, \quad h'_i = -\frac{\partial S_3}{\partial h_i}$$

$$(IV) \text{ 旧運動量と新運動量の関数 } S_4 \text{ の場合 : } q_i = -\frac{\partial S_4}{\partial p_i}, \quad h_i = \frac{\partial S_4}{\partial h'_i}$$

となるような変数変換は正準変換となる，ということである。

Jacobi が証明したのは，(IV) の場合，Charlier が示したのは (I) の場合である。Poincaré が提示した変換を起こす関数の形から判断すると，彼はまず， S_3 の場合を論じておいて，とくに断ることなく S_1 の場合に転じている。そして，方程式 (D) を導くときに考えていたのは S_2 の場合である。 S_2 に対してならば，(6) 式で定められた変数変換は確かに正準変換になることがわかるが，そのほかの場合については，Poincaré は間違えた関係を提示している。

これから判断されるのは，Poincaré は，正準変換において座標と運動量の取りかえることにより何が起こるかをまったく理解していなかったことである。彼が Jacobi の自身の成果を間違えて覚えこんで，その結果，ハミルトン・ヤコビ方程式の完全解が正準変換を与えることを発見したのか，あるいは，闇雲に計算をしているうちにこの関係に気づき，それに沿うように Jacobi の成果を書き換えたのかはわからない。いずれにせよ彼は，Jacobi の結果を都合のいいように紹介し，すでに知られている結果からつじつまを合わせる形で (D) 式を導いたとしか考えられないのである。Poincaré が自分の主張に対する証明をつけることができなくても当然であろう。Poincaré の直感がたまたま正しかったから導けたとしか思えない成果を生かし，最終的にハミルトン・ヤコビ方程式と正準変換を結びつけたのは Charlier であった。

4. おわりに

今日の力学の教科書では，正準変換とハミルトン・ヤコビ方程式を結び付ける定理の前後には Jacobi の名前があげられることが多い。Niels Bohr(1885-1962) もまた，Charlier を引用してはいるものの，すでに Jacobi がこの関係を認識していたかのような印象を与える記述をしている。⁽¹⁹⁾ また，Morris Klein は，有名な数学史通史の教科書のなかで，Jacobi は，ハミルトン・ヤコビ方程式を解いて正準変換を導く方法を提示したとしている。⁽²⁰⁾ もちろん，Jacobi のなかに，そう読める記述はあった。⁽²¹⁾ しかし，本当にそうであったら，たとえば Poincaré が上で見たような混乱を引き起こすとは考えにくい。したがって，Delaunay は 1860 年に (q_i, p_i) を変数とする正準形をした運動方程式を正準変換して方程式 (D) を導いたといった，19 世紀半ばの時点で正準変換の理論が完成したとしてなされているような歴史的な記述や思い込みは，すべて再検討の余地があるといえよう。

冒頭に，前期量子論の創設者たちが，ハミルトン・ヤコビ理論を有効に使っていたことを述べた。そのときのハミルトン・ヤコビ理論とは一体何を意味しているのだろうか。本稿で一例を見たように，量子論が形成される時期のハミルトン・ヤコビ理論は，Hamilton や Jacobi の成果から，大きく進展している可能性がある。19 世紀半ばに彼らが提示した理論は，その後どのような過程を経て前期量子論に適用できる水準にまでになっていったのか。ハミルトン・ヤコビ理論の歴史

を研究する意義を量子論の形成とのかかわりに求めるならば、その理論が包含するあらゆる要素に対して、この視点からの考察が必要であろう。

文献と注

- (1) A. Sommerfeld, *Atombau und Spektrallinien* (1919), Braunschweig, p.485.
- (2) W.R. Hamilton, "On a General Method in Dynamics," *Philosophical Transactions* Part 2, 1834, pp.247-308, および "Second Essay on a General Method in Dynamics," *Philosophical Transactions* Part 1, 1835, pp.95-144.
- (3) K. Schwarzschild "Zur Quantenhypothese" *Berliner Berichte* 1916, pp.548-568.= Reprinted in *Karl Schwarzschild: Gesammelte Werke* 3, (1992), Springer-Verlag Berlin, pp.428-448.
- (4) P.S. Epstein, "Zur Theorie des Starkeffektes," *Annalen der Physik*, 50, (1916), pp.489-520, および "Zur Quantentheorie," *Annalen der Physik*, 51, (1916), pp.168-188.
- (5) M. Jammer, 小出昭一郎訳『量子力学史1』, 1974年, 東京図書, p.123.
- (6) C.V.L Charlier, *Die Mechanik des Himmels* Bd.1 (1902), Bd.2 (1907), Leipzig.
- (7) H. Poincaré, *Les Méthodes Nouvelles de la Mécanique Céleste*, vol.1 (1892), vol.2 (1893), vol.3 (1899), Paris.
- (8) H. Poincaré, "Sur la probléme des trois corps et les équation de la dynamique," *Acta Mathematica*, vol.13, 1890, pp.1-270.
- (9) C.G.J. Jacobi, *Vorlesungen über Dynamik* は, 1866年に A. Clebsch が編集して公刊された。
- (10) 今日では, 関数 S のような正準変換を引き起こす関数を正準変換の母関数と呼んでいる。しかし, この用語が確立するまでしばらく時間がかかり, しかもその時点では, 正準変換についてより多くのことがわかっていた。母関数という述語を使うことにより, Poincaré らが使った関数に必要以上の意味付けを与えてしまう可能性があるので, この論文では, この語はつかわないことにする。
- (11) C.G.J. Jacobi "Note sur l'intégration des équations différentielles de la dynamique", *Comptes Rendus*, 5, (1837), pp.61-67, および "Über diejenigen Probleme der Mechanik in welchen eine Kräftefunction existirt und über die Theorie der Störungen," =in *Werke* 5, pp.219-395. 1890年, *C.G.J. Jacobi's Gesammelte Werke* にて公刊。
- (12) Poincaré は,

$$H = \frac{p_1^2 + p_2^2 + p_3^2}{2} = \frac{2M}{\sqrt{q_1^2 + q_2^2 + q_3^2}}$$

と記しているが, 実際には本論文の(*)式を用いて, 次のように議論を進めていく。まず

$$q_1 = r \sin \omega \cos \varphi, \quad q_2 = r \sin \omega \sin \varphi, \quad q_3 = r \cos \omega$$

と極座標変換したうえで、正準方程式 (1-c) に対するハミルトン・ヤコビ方程式

$$\left(\frac{\partial S}{\partial r}\right)^2 + \frac{1}{r^2} \left(\frac{\partial S}{\partial \omega}\right)^2 + \frac{1}{r^2 \sin^2 \omega} \left(\frac{\partial S}{\partial \varphi}\right)^2 = \frac{2M}{r} + 2h,$$

をまず導く。ここで h は任意定数である。次に、2つの任意定数 G, Θ を導入することにより、この方程式を

$$\frac{\partial S}{\partial \varphi} = \Theta \sqrt{M}, \quad \left(\frac{\partial S}{\partial \omega}\right)^2 + \frac{\Theta^2 M}{\sin^2 \omega} = G^2 M, \quad \left(\frac{\partial S}{\partial r}\right)^2 + \frac{G^2 M}{r^2} = \frac{2M}{r} + 2h,$$

と分解する。そして、 S は $r, \omega, \varphi, G, \Theta, h$ すなわち $q_1, q_2, q_3, G, \Theta, h$ の関数であることを指摘したうえで、Jacobi の第 1 定理に従い、

$$y_i = \frac{\partial S}{\partial q_i} \quad (i = 1, 2, 3), \quad h' + t = \frac{\partial S}{\partial h}, \quad g = \frac{\partial S}{\partial G}, \quad \theta = \frac{\partial S}{\partial \Theta}, \quad (**)$$

とにおいて、正準方程式の一般解を示す。 h', g, θ は新たに導入した任意定数である。さらに、

$$L = \sqrt{\frac{-M}{2h}}, \quad h = -\frac{M}{2L^2}, \quad n = \frac{M}{L^3}, \quad l = n(t + h')$$

と置くことにより、関係式 $\frac{\partial S}{\partial L} = l$ を導き、 S を $q_1, q_2, q_3, G, \Theta, L$ の関数として、正準方程式の一般解 (**) における第 2 式と置きかえ、(6) 式を得た。

(13) F. F. Tisserand, *Traité de Mécanique Céleste*, vol.1 (1889), vol.2 (1891), vol.3 (1894), vol.4 (1896), Paris.

(14) C.-E. Delaunay, “Théorie du mouvement de la lune I”, *Mémoire de l'Académie des Sciences*, vol.28, 1860, 1-883.

(15) 方程式 (D) においては、 l, g, θ は座標、 L, G, Θ は運動量となる。

(16) ただし、Poincaré は正準変換への関心は持ち続け、1897 年 (“Sur une forme nouvelle des équations du problème des trois corps”, *Bulletin Astronomique*, 14, (1897), pp.53-67) には、 $\sum h_i dh'_i - q_i dp_i$ が完全微分形であれば $(q_1, \dots, q_n; p_1, \dots, p_n)$ から $(h_1, \dots, h_n; h'_1, \dots, h'_n)$ への変換は正準形を保つという結果を出し、これを整理して『天体力学の新しい方法』第 3 巻や『天体力学講義』第 1 巻 (*Leçons de Mécanique Céleste*, vol.1 (1905), vol.2 (1907), vol.3 (1910), Paris.) で紹介している。これが正準変換に関する彼の最終的な成果であった。

(17) 1891 年 Halle 大学に提出した教授資格論文 (*Über die Integration der Hamilton-Jacobischen Differentialgleichung mittels Separation der Variablen*) に引き続き、P. Stäckel は、“Über die Bewegung eines Punktes in einer n -fachen Mannigfaltigkeit”, *Mathematisch Annalen* 42, (1893), pp.537-563, “Sur une classe de problèmes de dynamique”, *Comptes Rendus* 116, (1893), pp.485-487, “Sur l'intégration de l'équation différentielle de Hamilton”, *Comptes Rendus* 121, (1895), pp.489-492, “Über die Gestalt der Bahnkurven bei einer Klasse dynamischer Probleme”,

Mathematisch Annalen 54, (1901), pp.86-90 と題する論文を発表した。

(18) 今日の教科書には、ハミルトン・ヤコビ方程式 $R = H + \frac{\partial \psi}{\partial t} = 0$ を解いて方程式 (8) の R を 0 にするような関数 ψ をみつければ (8) 式は容易に積分できるから、正準方程式 (1) が解けるとする説明がなされている。Charlier の場合は、「Jacobi の第 1 定理」で、正準方程式 (1) の解法を与えているので、議論はこのような方向へは進まない。

(19) N. Bohr, “On the quantum theory of line-spectra” (1918) *D. Kgl. Danske Vidensk. Selsk. Skr., Naturvid og Mathem. Afd.*, 8 [IV], 1. 本論文作成にあたっては、B.L. van der Waerden ed. *Sources of Quantum Mechanics*, 1967, Amsterdam に収録されたものを参照した。当該箇所は pp.127-128.

(20) M. Klein, *Mathematical Thought from Ancient to Modern Times*, New York, pp.743-745.

(21) 中根美知代, “20 世紀初頭の「ハミルトン・ヤコビ理論」に関する一考察”, 『物理学史ノート』第 10 号, 2007, pp.1-13.

The Introduction of the Canonical Transformation to the Hamilton-Jacobi Theory at the Beginning of Twentieth Century

NAKANE, Michiyo

Abstract:

The so-called Hamilton-Jacobi theory offered an effective mathematical technique to explain quantum phenomena. In this respect, it played an important role in the development of the old quantum theory. Schwarzschild's introduction of the action-angular variables in 1916 suggests that the application of the Hamilton-Jacobi theory to the new theory would not have succeeded without the notion of the canonical transformation. This paper examines how the canonical transformation was discussed in celestial mechanics just before the old quantum theory began to be constructed.

In the first volume of *Les méthodes nouvelles de la mécanique céleste* published in 1892, Poincaré discussed how a canonical transformation can be associated with a complete solution of the Hamilton-Jacobi equation using his modified version of Jacobi's theorem. He used his original method about the canonical transformation. Then, he derived Delaunay's equations from Hamilton's equations of motion. But Poincaré made mathematical mistakes in his discussion.

Noting Poincaré's results, Charlier finally succeeded in establishing the relation between the canonical transformation and the Hamilton-Jacobi equation in his second volume of *Die Mechanik des Himmels* published in 1907. Through canonical transformations, Charlier demonstrated a proto-type of angular variables, commonly used in celestial mechanics, become the so-called canonical variables. Schwarzschild referred to this result and constructed the action- angular variables that were effectively used in his explanation of Stark effect.

We tend to think that the theory of canonical transformations was established by Jacobi. He actually developed the idea for this theory in the first half of the nineteenth century. But it was Poincaré and Charlier who made Jacobi's theory applicable to the old quantum theory.

ヨハン・ベルヌーイの力学研究における “保存則”と“加速法則”

中島研究室 野澤聡

はじめに

ヨハン・ベルヌーイ(Johann Bernoulli, 1667-1748)は、数学と力学の分野で多くの業績を挙げた学者である。彼の研究のうち、微積分を中心とする数学史の分野では様々な分析が行われ評価されてきた⁽¹⁾。これに対して、力学史では研究が断片的で不十分であったことは、筆者が先に『科学史研究』に発表した論文で指摘したところである⁽²⁾。筆者がそこで述べたように、従来の研究では、ニュートン力学の解析化や活力論争といった概念的枠組みに囚われすぎており、ヨハン・ベルヌーイの論考それ自体の分析がなおざりになっていた。すなわち、ヨハン・ベルヌーイの力学研究は、ニュートン力学の解析化という点でニュートン派であると同時に、“活力論争”では活力概念を擁護したライブニッツ派であり、重力を巡る論争ではデカルト流の渦動論を擁護したデカルト派であるというように、先駆者の成果をバラバラに継承発展させたただけであると見なされてきたのである。

先に筆者が『科学史研究』に発表した論文で指摘したように、従来の“活力論争”による分析では、ヨハン・ベルヌーイは活力派であるとされてきた。“活力論争”では、活力概念と運動量概念は両立し得ないとされる。これに対して筆者は、上記の論文でヨハン・ベルヌーイが1727年に発表した衝突理論を分析し、彼が活力保存則と運動量保存則の双方を用いて物体の衝突現象を説明していることを指摘した。つまり、“活力論争”という先入観に囚われている限り、ヨハン・ベルヌーイの衝突理論の基本的前提すら理解困難になってしまうのだ。

本稿では、今度はヨハン・ベルヌーイの力学研究と、ニュートン(Issac Newton, 1642-1727)に由来する力学研究との関係を考察する。従来の見解では、“活力論争”を背景にして、ヨハン・ベルヌーイが用いた“保存則”とニュートンの「運動の第二法則」に由来する“加速法則”とを対立的に捉える傾向が強かった。例えば、18世紀力学史研究で多くの論考を発表しているマルテーセは、ヨハン・ベルヌーイの弦の振動理論(1728年)を分析して、「ニュートンの運動の原理に対して活力理論の優位性を示そうと」したものであると述べている⁽³⁾。すなわち、ヨハン・ベルヌーイの力学研究をニュートンの研究と対立するものとして捉えている。

ところが、非常に興味深いことに、マルテーセがニュートンの力学研究と対立するものと見なしたヨハン・ベルヌーイの1728年の弦の振動理論と1735年

の論文で、ヨハン・ベルヌーイは“保存則”に基づく解法と、“加速法則”に基づく解法とを、同一の問題に対して併記している。本稿では、マルテーセが取り扱ったこの2つの論文の問題解法を改めてくわしく分析することによって、ヨハン・ベルヌーイが“保存則”と“加速法則”とを、相補的に捉えて問題解法に利用していたことを示す。2節と3節で見ると、マルテーセの見解によると、この2つの論文は、どちらも活力概念を擁護するために書かれたとされる。しかし、以下で筆者が示すように、これは誤読である。この2つの論文で、ヨハン・ベルヌーイは同一の問題について、“保存則”による解答と、“加速法則”による解答を併記しているのだ。すなわち、彼にとってニュートンに由来する“加速法則”を用いた問題解法と、ヨハン・ベルヌーイ自身が提唱した“保存則”を用いた問題解法は、互いに排除すべきものではなかったことを本稿は明らかにする。

本稿の構成は以下のようなものである。まず1節では、ヨハン・ベルヌーイが1727年の衝突理論で提唱した理論の内容を確認し、2節と3節で分析する論文がこの理論の延長線上にあることを、彼自身の記述によって裏付ける。次に2節では、ヨハン・ベルヌーイが1728年に弦の振動理論を展開した論文を分析し、彼がライプニッツ(Gottfried Wilhelm Leibniz, 1646-1716)の影響を受けて提起した2つの“保存則”に、ニュートンの『プリンキピア』に由来する“加速法則”を関係付けようとしていたことを示す。彼はそこで、同一の問題について、“保存則”から出発する解法と、“加速法則”から出発する解法という二種類の解法を与えていた。3節では、彼が1735年に発表した「活力の真の意味について」という論文を分析し、ここでも彼が同一の問題について“保存則”を用いた解法と“加速法則”を用いた解法を併記していることを確認する。その上で、彼がこの2つの解法を対立するものではなく、各々に一長一短があり、相互に補い合うべきものとして把握していたことを示す。

1. 1727年の衝突理論—“保存則”を使った問題解法の提唱

ヨハン・ベルヌーイが衝突理論を展開した1727年のフランス語の論文「運動の伝達法則について」⁽⁴⁾は、彼の力学研究に言及するさいにしばしば利用されてきた。だが、それはもっぱら“活力論争”において彼が活力概念を擁護したことを示すためであった。本稿の冒頭でも触れたが、筆者は先に『科学史研究』に発表した論文「ヨハン・ベルヌーイの力学—衝突法則からの再評価—」で、従来の研究が史料の部分的な分析や誤解に基づいていることを指摘し、ヨハン・ベルヌーイの論文に即して、彼がそこで展開した理論の全体像を明らかにした。すなわち、彼は1727年の論文で、活力保存則と運動量保存則という2つの保存則を基にして力学の広範な問題を解決するという構想を提起したのである⁽⁵⁾。

1727年の論文「運動の伝達法則について」で中心的な役割を演じるのは、彼が“運動の伝達法則”と呼ぶ一連の関係式である。それは、2つの固い球が衝

突する前後の速度を関係付けたものであって、①相対速度の保存、②“向きの量(*quantité de direction*)”の保存、③活力の保存という3つの保存則から構成されている。質量がそれぞれ A , B の2つの物体の衝突前の速度を a , b とし、衝突後の速度を x , y とすると、次のような式で表される。

$$\textcircled{1} \quad a - b = y - x$$

$$\textcircled{2} \quad Aa + Bb = Ax + By$$

$$\textcircled{3} \quad Aa^2 + Bb^2 = Ax^2 + By^2$$

現在の言葉でいえば、②は運動量保存則、③はエネルギー保存則に相当する⁽⁶⁾。ヨハン・ベルヌーイはこのように提示した3つの保存則から、場合に応じて必要なものを選んで問題を解いている。

彼はその後、全集(*Johannis Bernoulli Opera Omnia*)⁽⁷⁾を出版する1742年までの15年間に、上記のように“保存則”を用いた論文を6本発表している⁽⁸⁾。これはヨハン・ベルヌーイが同時期に発表した論文11本の過半を占める。したがって、“保存則”を用いて力学の問題を解くという構想は、晩年のヨハン・ベルヌーイの力学研究にとって重要な位置を占めていたと見なすことができよう。

以下で論じるように、その後の展開は、彼がこのような見通しをもって力学研究を進めたことを確かに示している。彼は1727年から1735年の間に発表した論文で“保存則”を活用した新たな成果を発表している。それは彼の構想の有効性を示すものであったが、同時にこの理論の問題点が明らかになり、研究の方向性も変更を余儀なくされた。以下では、彼が1728年と1735年に発表した2つの論考の構造を分析することによって、1727年の論文「運動の伝達法則について」からの構想の変化を跡付ける。

2. 弦の振動理論(1728年)における“保存則”と“加速法則”

ヨハン・ベルヌーイは、1728年の『サンクト・ペテルブルク帝国科学アカデミー紀要(*Commentarii Academiae Scientiarum Imperialis Petropolitanae*)』に発表したラテン語の論文、

「複数の小さな錘が互いに等しい間隔で埋め込まれた振動弦についての考察、長さ D の振子が1振れする間の弦の振動数が、活力の原理から確実に求められる」

で弦の振動理論を展開した⁽⁹⁾。この論文(以下では「振動弦について」と略記)については、優れた18世紀力学史家のトゥルーズデルらによって、比較的詳しく分析がなされ、弾性振動理論の先駆的業績として高く評価されてきた⁽¹⁰⁾。けれども、これまでの研究は、この論文の数学的側面の分析に偏っており、この論文での活力保存則の役割といった力学的前提に関しては、十分に分析がなされたとはいえない。加えていうと、これまでの研究では、ヨハン・ベルヌーイの力学研究の中から弦の振動理論だけを取り出して、ホイヘンス(*Christiaan*

Huygens, 1629-1695)などの先駆者や、テラー(Brook Taylor, 1685-1731)などの競争相手、あるいはオイラー(Leonhard Euler, 1707-1783)などの後継者の理論と比較検討することに主眼が置かれてきた⁽¹¹⁾。

このような比較分析が有益なことは言うまでもない。それによって弦の振動理論に対するヨハン・ベルヌーイの寄与が発見され、力学史における位置付けがより明確になったからである。だが、弦の振動理論だけを孤立させて分析した結果、ヨハン・ベルヌーイの理論の理解が不十分になった点も少なくない。先に述べた活力保存則についての先行研究の見解がこの問題点を浮き彫りにしている。

これまでのところ、ヨハン・ベルヌーイによる弦の振動理論をもっとも詳しく分析したのは、イタリアのマルテーセである。マルテーセの研究は、トゥルーズデルらによるそれまでの研究成果⁽¹⁰⁾も踏まえているため、先行研究の見解を知るにはもっとも適当であると考えられる。そこで、ヨハン・ベルヌーイの理論を見る前に、マルテーセの分析を簡潔にまとめておきたい。

マルテーセは、1992年に発表した「テラーとヨハン・ベルヌーイの振動弦研究：18世紀始めにおける連続体の動力学の諸相」という論文で、テラーとヨハン・ベルヌーイによる弦の振動理論を比較検討することによって、18世紀前半における力学理論の実態を解明しようとした⁽¹²⁾。そして、ヨハン・ベルヌーイが「運動の伝達法則について」(1727年)で活力概念を「熱狂的に擁護した」と見なしている⁽¹³⁾。マルテーセによると、テラーがニュートンに由来する「運動の第二法則」を使って問題を解いたのに対し、ヨハン・ベルヌーイは、“活力保存則”とガリレオ(Galileo Galilei, 1564-1642)に由来する“落下法則”を用いて問題を解いたという⁽¹⁴⁾。このことを根拠にしてマルテーセは、ヨハン・ベルヌーイが活力理論の優位性を示すために、“活力保存則”を用いて問題を解いたと述べている⁽³⁾。つまり、マルテーセによれば、“熱狂的な活力論者”であるヨハン・ベルヌーイによる弦の振動理論は、“活力保存則”と“落下法則”に基づいていることになる。

だが、マルテーセの見解は、“活力論争”という前提を当然視したために、ヨハン・ベルヌーイの論文を読み誤っている。以下で示していくように、ヨハン・ベルヌーイの論文「振動弦について」では、同一の命題に対して二種類の解法が提示されている。すなわち、まず活力保存則(すなわち運動の伝達法則を構成する3要素のうちの1つ)を用いた解法が示されたあとで、「運動の第二法則」に由来する“加速法則”を用いた解法が示される、という構成になっている。マルテーセも、1728年の論文「振動弦について」で2種類の解法が併記されていると述べている⁽¹⁵⁾。ところが、マルテーセの理解では、ヨハン・ベルヌーイは第2の解法でも活力保存則を暗黙のうちに使っているというのだ。そこで以下では、ヨハン・ベルヌーイの論文「振動弦について」で提示された2つの解法を詳しく検討することによって、マルテーセの見解を検証することにしたい。

2.1. 活力保存則を用いた解法

1728年の論文「振動弦について」は、次のような弦の説明から始まる(図 2.1).

等距離で固定された同じ重さの小球(pondusculum)をもつ振動弦 ACDEF 等は、すべての小球が同時に直線 AB に到達するような形をしている必要がある。したがって、各々の小球の速度と加速力は、それらが通過する長さ Cc, Dd, Ee 等に比例する必要がある⁽¹⁶⁾

つまり、弦は軽い糸と小球から構成されており、弦が振動する際には、弦全体が同時に軸 AB を通過するように、すべての小球は同じ周期で単振動する。カノンとドストロフスキーによると、“弦の各部分が同じ周期で単振動する”という条件を明示したのは、ヨハン・ベルヌーイが最初であった⁽¹⁷⁾。

1節で見た1727年の論文「運動の伝達法則について」では、形而上学的な概念を擁護しているように見える文章が見られる⁽¹⁸⁾。だが、1728年の論文「振動弦について」にはそのような文章はなく、問題の説明と解答のみが書かれている。

彼はこの系の振動数を、活力保存則を用いて求めたあとで、改めて“加速法則”を用いて求めている。次にそこで展開された解法を土台として、連続的な質量分布をもつ弦の振動数を、まず“加速法則”を用いて求め、次に活力保存則を用いて求めている。

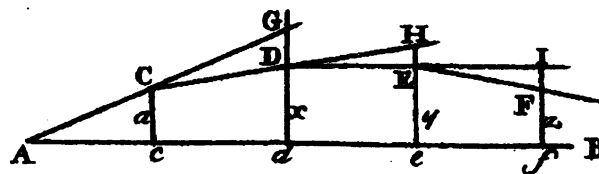


図 2.1 糸と小球による弦のモデル
(Johannis Bernoulli Opera Omnia, Tom.3, 210)

本稿では、二種類の解法を対比させて分析することが目的なので、以下では、ヨハン・ベルヌーイがここで提示した1個の小球と2本の糸から成るもっとも簡単な系に対する解法を分析する。

図 2.2 は、1個の小球と1個の錘と2本の糸による弦のモデルである。このモデルでは、重さのない糸が端点 B で固定され、点 F で重さ L の小球に繋がっており、この小球 L と重さ P の錘も重さのない糸で繋がっている。また、弦は振動する際にたるみも変形もせず、点 A では自由に動くことができる。この系では、小球 L は点 C を中心に単振動し、錘 P は釣り合いの点を中心に単振動する。小球の微小な振幅を a 、AB の長さを $2b$ とすると、錘 P の振幅は幾何学的

な考察から、 $a^2/2b$ となる。

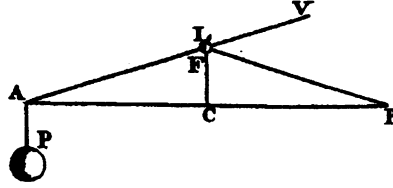


図 2.2 小球 1 個による弦のモデル
(Johannis Bernoulli Opera Omnia, Tom.3, 210)

このように弦のモデルを提示したあと、彼は、

[小球] L が [軸 AB 上の点] C に到達したときに得た速度が、重さによって自由落下する物体が垂直な高さ z を通過したあとで得た速度に等しいとすると、その速度は \sqrt{z} になる

と述べる⁽¹⁹⁾。これは自由落下においては、速度が落下距離の 2 乗に比例することを述べたものであり、17 世紀以来、ガリレオに由来する“落下法則”として知られていた法則である⁽²⁰⁾。この法則と活力保存則から、

$$Lz = (a^2/b) \times P \quad (2.1)$$

を得る⁽²¹⁾。左辺は小球 L の活力の最大値であり、右辺は錘 P がもつ活力の最大値である。つまりこの式は、小球 L がもつ活力と錘 P がもつ活力の和がつねに一定であることを示しているのである。

また、式(2.1)は、小球 L の速度が振幅 a に比例することも表わしているので、この単振動の周期を求めることができる。すなわち、小球 L の四半周期は、円周率を p とすると、

$$ap/(2\sqrt{z}) = p\sqrt{bL}/(2\sqrt{P}) \quad (2.2)$$

となる⁽²²⁾。

ここで、長さ D の振子の四半周期は、 $p\sqrt{(1/2)D}$ なので、長さ D の振子が 1 回振れる間に小球が振動する回数は、式(2.2)を用いて、 $2\sqrt{(D \times P)/(AB \times L)}$ となる⁽²³⁾。

2.2. 「静力学の原理(principia statica)」を用いた解法

論文「振動弦について」では、活力保存則を用いた解法が展開されたあとで、「静力学の原理」⁽²⁴⁾を用いた別の解法が展開されている。ここでいう「静力学の原理」とは、以下で見るように、ニュートンの「運動の第二法則」に由来す

る“加速法則”のことである。

マルテーセによると、「静力学の原理」とは、弦の張力と曲率から生じて小球に作用する復元力のことであり(25)。だが、そのような復元力が小球に作用していることは、2.1節で分析した活力保存則を用いた解法でも、「小球LをCに向かって引く力はつねに距離LCに比例する」(26)と述べられており、二種類の解法に共通する前提となっている。したがって、マルテーセのように「静力学の原理」を復元力であると理解するには無理がある。

この解法の冒頭には、4つの補題がある。補題1は、重力を受けて自由落下する物体の、速度に関するものである。すなわち、重力の大きさを g として、

物体が落下する距離を x 、落下の終端における速度を v 、落下時間を t 、重さ P の質量(massa)を M とすると、 $M \times g = P$ であり、 $gdx/v = dv$ だから、

$$\sqrt{2gx} = v \text{ となる}$$

と述べている(27)。

ここで $gdx/v = dv$ という式は、重力 g と距離 dx の通過に要する時間 dx/v との積が、速度の変化 dv になることを表わしている。このような関係式は、1700年にヴァリニオン(Pierre Varignon, 1654-1722)がニュートンの『プリンキピア』の中の命題を解釈するために使い始めて以来、大陸の数学者の間ではよく知られたものであった(28)。ヨハン・ベルヌーイも、『プリンキピア』に由来する問題を議論する際には、早くからこの関係式を使っている(29)。ただし当時はこの関係式の名称が一定しておらず、「加速力」「比例関係」「加速法則」など様々に呼ばれていた(30)。そこで以下では、加速を表わす上記の関係式を、“加速法則”と呼ぶことにする。補題1は、物体が重力によって加速される場合に、“加速法則”を重力に適用したものであるということが出来る。

補題2では、補題1の関係式を変形して、 $t = \sqrt{2x}/\sqrt{g}$ という、落下時間と落下距離の関係を導いている(31)。

補題3では、補題2の結果を用い、円周率を p として、重力を受けてある円の直径を自由落下するのに要する時間を、その円の直径と同じ高さのサイクロイド軌道の底まで到達するのに要する時間と比べることによって、長さ D の振り子の四半周期 $(p/2)\sqrt{D/g}$ を求めている(32)。

補題4は、単振動では、復元力の比例定数が同じならば、周期は振幅に関わらず一定になることを述べている。すなわち、

距離FCに比例する力によって[直線FC上を運動する]点Fが[定]点Cに向かっているとき、点Fがどこから動き始めても、常に等しい時間で距

離 FC を通過することを証明する⁽³³⁾.

この命題に対するヨハン・ベルヌーイによる証明は次のようなものである。彼はまず、 f を力のパラメータ (parametrum) として、距離に比例する力を $f \times FC$ と表わし、距離 $FC = a$ 、 FC 間の任意の点を O として、距離 $FO = x$ とする。ここで彼は、

$$f \times (a-x) dx / v = dv \quad (2.3)$$

という式を提示する⁽³⁴⁾。この式は、距離 $a-x$ に比例する力 $f \times (a-x)$ と距離 dx の通過に要する時間 dx/v との積が、速度の変化になることを示しており、補題 1 のところで登場した式と同じ形をしている。つまり彼は、ここでもまた、“加速法則”を用いているのである。

マルテーセによれば、ヨハン・ベルヌーイは、“活力保存則”を暗黙のうちに使って式(2.3)を得たという⁽³⁵⁾。だが、上で説明したように、ニュートンに由来する“加速法則”を使うことは、ヴァリニョンと親しく書簡をやり取りしていたヨハン・ベルヌーイにとって自然なことであったと考えられる。また、上で見たように、式(2.3)の形は、ヨハン・ベルヌーイたちが“加速法則”を表現する一般的な形であった。さらに、ヨハン・ベルヌーイが論文「振動弦について」で活力概念を使う場合には、「活力(vis viva)」という言葉を用いている⁽³⁶⁾。マルテーセも、自身の解釈には無理があることに気づいていたように思われる。彼がヨハン・ベルヌーイの原文にはない

$$f(a-x) dx = v dv \quad (2.3a)$$

という式を使って説明しているからである⁽³⁵⁾。現代的な観点からすると、式(2.3a)は、復元力 $f(a-x)$ による位置エネルギーが減った分だけ小球の運動エネルギーが増加することを表わしていると解釈できる。だから、もしヨハン・ベルヌーイが式(2.3a)を使っていたならば、マルテーセの解釈を取ることも可能だったかもしれない。しかし、ヨハン・ベルヌーイは式(2.3a)を使っておらず、“加速法則”を表すのに当時一般的だった式(2.3)を直接提示している。また、この解法では、「活力」という言葉が用いられていない。したがって、マルテーセのように“活力保存則”を暗黙のうちに使って式(2.3a)を得たと見なすよりも、当時一般的だった“加速法則”を使って式(2.3)を得たと考える方がより自然であると筆者は考える。

次に彼は式(2.3)を積分して式変形することから、

$$dt = dx / \sqrt{f(2ax - x^2)} \quad (2.4)$$

を得る⁽³⁷⁾。これは、式(2.3)で表わされる運動において、距離 dx を通過するのに要する時間である。

式(2.4)を x について 0 から a まで積分すると、距離 a を通過するのに要する時間は、 p を円周率として、 a に関係なく常に一定値

$$p/2\sqrt{f} \quad (2.5)$$

となることが分かる⁽³⁸⁾。これは、点Fがどこから動き始めても、常に等しい時間で距離FCを通過することを示している。

このように、4つの補題を説明してから、ヨハン・ベルヌーイは図2.2に示されるような系の振動数を求めている。まずはじめに彼は、錘Pに作用する重力と、小球LをCに向かわせる力との比を求める。振幅FCが無限に小さいことを利用すると、幾何学的な考察から、その比は $AC:2FC=b:2a$ になる。したがって、小球LをCに向かわせる力は、錘Pの質量をMとして、 $2aMg/b$ となる⁽³⁹⁾。この力は、振幅aに比例する力である。よって、このような力を受けて運動する小球Lの周期は、補題4の式(2.5)から、 $p\sqrt{bL}/2\sqrt{2gM}$ となる⁽⁴⁰⁾。

補題3で、長さDの振子の四半周期は $(p/2)\sqrt{D/g}$ であることが分かっているので、長さDの振子が1回振れる間に小球が振動する回数は、 $2\sqrt{(D \times P)/(AB \times L)}$ となる⁽⁴¹⁾。当然のことながら、この結果は、2.1節で活力保存則を用いて得られたものと一致している。

2.3. 二種類の解法の対比とマルテーセの見解の検討

二種類の解法を対比させると、活力保存則を用いた解法には、“加速法則”を用いた解法にはない前提があることが分かる。それは、“落下法則”という前提である。これまでに繰り返し説明したように、活力保存則を用いた解法では、“落下法則”を用いて物体の速度を高さに変換している。このため、活力保存則を用いた解法では、“重力”が表れていない。

これに対し、“加速法則”を用いた解法では、2.2節で見たように、重力の作用を受けて運動する物体に“加速法則”を適用することによって、“落下法則”に相当する式を導出している。現代の観点からすると、“落下法則”が運動方程式と重力加速度から導出されるというのは自明のことである。けれども、2.1節で指摘したように、“落下法則”は17世紀のガリレオ以来よく知られた法則であり、他の前提から導出されることなく頻繁に用いられてきた⁽²⁰⁾。したがって、ヨハン・ベルヌーイが“加速法則”から“落下法則”に相当する式を導出しているのは、当然ではなく、むしろ注目に値することなのだ。

すなわち、活力保存則を用いた解法では、“落下法則”はガリレオに由来する外的な前提である。つまり、“落下法則”は活力保存則から導出することはできず、別個に付け加える必要がある。これに対して、“加速法則”を用いた解法では、“落下法則”は1つの定理である。つまり、“加速法則”を鉛直下向きの重力に適用すれば、“落下法則”を導出することができる。このような対比は、2つの解法が併記されることによって初めて明確になるのである。

ここで2.1節で分析した1728年の活力保存則を用いた解法を、1節で分析した1727年の球の同時衝突の解法と対比させてみよう。一見して明らかなのは、球の同時衝突の解法には、当然ながら“落下法則”が含まれていないことである⁽⁴²⁾。そのため、ヨハン・ベルヌーイは、2つの“保存則”のみを使って解法の概略を示すことができた。

だが、重力の影響を受けて振動する弦の理論においては“落下法則”が必要になる。そして上で見たように、“落下法則”は“保存則”とは別個の、外的な前提として導入された。

次に、2.2節で見たように、ニュートンに由来する“加速法則”を用いた解法でヨハン・ベルヌーイは、“加速法則”から“落下法則”に相当する式を丁寧に導出している。すなわち、彼は“加速法則”の定理として“落下法則”を扱っているのだ。そのことはまた、活力保存則からは“落下法則”を導出できないが、ニュートンに由来する“加速法則”からならば“落下法則”を導出できる、ということを示唆していることを示唆する。

ここで、1728年の論文における二種類の解法の関係について改めて考えてみたい。2.1節と2.2節で見たように、二種類の解法は、互いに引用や言及をおこなわず、それぞれ独立に提示されている。つまり、弦の振動という問題に対しては、“保存則”を用いる解法と“加速法則”を用いる解法は同等の説明能力をもっていることが示されているのである。さらに、上で見たように、二種類の解法を対比することによって、“保存則”を用いる解法には“落下法則”という“保存則”からは導出できない前提が不可欠であることが明示されている。

これまでの分析結果を用いて、マルテーセの見解を検証してみよう。マルテーセによれば、2.1節と2.2節で見たどちらの解法でも、ヨハン・ベルヌーイは“活力保存則”と“落下法則”を用いて問題を解いたことになっている。確かに、2.1節で分析した活力保存則を用いた解法では、その通りである。一方、2.2節で分析した「静力学の原理」を用いた解法も“活力保存則”と“落下法則”に基づいていると見なすのは困難である。2.2節で指摘したように、マルテーセは、「静力学の原理」を復元力とみなし、これを用いた解法でも、式の導出の際に活力保存則が使われたと解釈している。だが、ヨハン・ベルヌーイは活力保存則を適用する際には、「活力(vis viva)」という言葉を用いて明示している。だから、「活力」という言葉を用いていない箇所では暗黙に活力保存則が適用されたと見なすことはできないのではなかろうか。また、「静力学の原理」に基づくヨハン・ベルヌーイの解法の末尾には、

先に活力を用いて得た解と完全に一致する

と書かれている⁽⁴³⁾。すなわち、「静力学の原理」を用いて問題を解いた結果が、活力を用いて解いた結果と一致することが明記されている。このことは、「静力学の原理」に基づく解法では、活力が用いられていないことを示している

思われる。

繰り返しになるが、マルテーセは、ヨハン・ベルヌーイが活力理論の優位性を示すために“活力保存則”を使って振動弦の問題を解いたと述べている⁽³⁾。たしかに、2節の冒頭で見たように、1728年の論文「振動弦について」の題名には、「活力の原理から」という文言が入っている。だが、2.1節の冒頭で見たように、この論文はいきなり弦の説明から始まっており、活力保存則の優位性を述べていると見なせる箇所は見当たらない。これに対して1節で分析した1727年のフランス語の論文「運動の伝達法則について」には、2.1節で指摘したように、活力が「宇宙における運動継続の唯一の源泉」というように活力概念を擁護したと見なせる文言が見られる⁽¹⁸⁾。一方1728年の論文「振動弦について」では、このような文言は見られない。むしろ、彼は2種類の解法を冷静に対比させ、それぞれの解法の特徴を浮かび上がらせている。上で見たように、ニュートンに由来する“加速法則”から“落下法則”を導出するところは丁寧に説明されており、活力保存則を用いた解法で使われていた“落下法則”の位置付けがより明確になっている。したがって、ヨハン・ベルヌーイが活力理論の優位性を示すために活力保存則を用いて問題を解いた、と見なすのは困難であると思われる。以上の分析から判断すると、ヨハン・ベルヌーイが1728年の論文「振動弦について」で2種類の解法を区別して併記していることは確実である。

3節では、以上の筆者の解釈を補強するために、ヨハン・ベルヌーイが1735年に発表した論文「活力の真の意味について」を分析する。彼はこの論文でも、同一の問題について、“保存則”を用いた解法と“加速法則”を用いた解法とを併記している。次節ではこの論文を分析することによって、ヨハン・ベルヌーイの力学研究の展開をより明確に把握することを目指す。

3. 「活力の真の意味について」(1735年)

ヨハン・ベルヌーイは1735年出版の『学術紀要(Acta eruditorum)』に、ラテン語の論文、

「活力の真の意味と、『サンクト・ペテルブルク帝国科学アカデミー紀要』第2巻200頁で私が提起した例で示した活力の使い方について」⁽⁴⁴⁾

を発表した（以下「活力の真の意味について」と略記）。

マルテーセは、先に紹介した彼の論文の中で、2節で分析した1728年の論文「振動弦について」と3節で分析する1735年の論文「活力の真の意味について」は同じ構造であり、どちらも“活力論争”という文脈で理解する必要があると述べている⁽⁴⁵⁾。したがって、1735年の論文「活力の真の意味について」の問題解法を分析することによって、2節で提示した筆者の分析およびマルテーセの分析をさらに検証することができる。

以下では、論文「活力の真の意味について」における具体的な問題解法に焦点を当てて分析する。そうすることによって初めて、1節と2節で分析したヨハン・ベルヌーイの構想の変容を明確にすることができる。

3.1. 活力保存則を用いた解法

彼が1735年の論文「活力の真の意味について」で考察するのは、

曲線 CGB が与えられて、その曲線に沿って錘 B が降下し、別の曲線 FAC に沿って上昇する別の小さな錘 A が、滑車 C を通る糸を介して錘 B を後から上方に引っ張りながら、2つの錘と一緒に運動するとき、B と A が [斜面上の] 任意の場所にあるときの錘の速さを求めよ

という問題である⁽⁴⁶⁾。これは、この論文の表題にある「『サンクト・ペテルブルク帝国科学アカデミー紀要』第2巻200頁で私が提起した例」を難しくした問題になっている。表題の「例」では、錘 A が垂直に上昇することになっている⁽⁴⁷⁾。

この問題に対する活力保存則を用いた解法は次のようなものである。図 3.1 で、錘 A は点 F から軌道を上り始め、錘 B は点 G から軌道を降り始め、ある瞬間に aCb の位置にあった糸が、微小な時間の運動のあとで、ACB の位置に達したものとす。

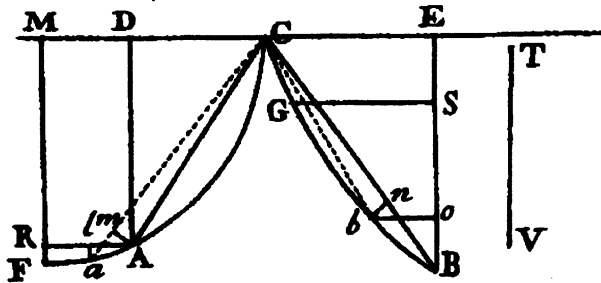


図 3.1 糸で繋がれた 2 物体の運動
(Johannis Bernoulli Opera Omnia, Tom.3, 260)

この運動を分析するために、まず、水平な直線 ME 上に、FM, AD, BE が ME と垂直になるように点 M, D, E をとる。次に、糸 aC 上に、Am が aC に垂直になるように点 m をとり、糸 BC 上に、bn が BC と垂直になるように点 n をとる。また、線分 BE 上に、bo が BE と垂直になるように点 o をとる。さらに、線分 FM 上に、AR が FM と垂直になるように点 R をとり、線分 AR 上に、al が AR と垂直になるように点 l をとる。

CB=x とおくと、錘は微小な運動で a から A に移動し、b から B に移動する

ので, $Bn=am=dx$ とおける. また, $Bo=dy$, $la=dq$ とおく. さらに, 軌道上の微小要素 bB , Aa の長さをそれぞれ ds , dr とおく.

この解法でも, 2節で見た振動弦の解法と同様に, 自由落下において速度の2乗が落下距離に比例するという, “落下法則” が提示されている. すなわち,

z を垂直な線分 TV に等しいとする. 任意の錘が z の高さから自由落下して得た速度が, 錘 B が曲線上の点 B で得る速度に等しくなるものとする⁽⁴⁸⁾.

ここでも2節と同様に, 点 B における錘の速度は, \sqrt{z} と表わされる. このとき, 錘 A の速度は, 同じ微小時間内に通過した軌道上の微小要素を比べることによって, $(dr/ds)\sqrt{z}$ となる⁽⁴⁹⁾.

この解法では, 活力保存則は次のように述べられている.

降下する錘と上昇する錘における活力の保存と性質によって, 降下する錘の重さと降下距離との積の合計から, 上昇する錘の重さと上昇距離との積の総計を差し引いたものは, すべての錘が獲得した活力の合計に等しい⁽⁵⁰⁾.

つまり, この問題では, 錘 B の降下で放出された活力から, 錘 A の上昇に使われる活力を差し引いたものが, 2つの錘の速度の増加に使われることになるのである.

この問題では, 錘 B は点 G から運動を始め, 錘 A は点 F から運動を始めているので, 上に述べた活力保存則を式に表わすと,

$$SB \times B - FR \times A = z \times B + (dr^2/ds^2)z \times A \quad (3.1)$$

式(3.1)を z について解いて, $SB=q$, $FR=r$ を書き換えると, z を表わす式が得られる.

$$z = (By - Aq)ds^2 / (Bds^2 + A dr^2) \quad (3.2)$$

3.2. 加速法則を用いた解法

この解法でも引き続き図 3.1 が用いられる. また, 点の配置や変数などは, 3.1節と同様である. ここで新たに導入されるのは, 2つの錘を繋ぐ糸の張力 T と, 重力 g である. また, 2.2節の補題1と同じく, 2つの錘の質量(massa)をそれぞれ A , B とし, 錘が受ける「絶対的の重さ(pondus absolutum)」をそれぞれ gA , gB としている⁽⁵¹⁾.

次にヨハン・ベルヌーイは, 斜面方向の分力を求めている⁽⁵²⁾. 錘の運動に係るのは, 斜面方向の分力だからである. 錘 B には, 重力の斜面方向の分力と, 糸の張力の斜面方向の分力がはたらいている.

錘 B にはたらく重力の斜面方向の分力は, $gBdy/ds$, 糸の張力の分力は, Tdx/ds なので, 錘 B にはたらく力の斜面方向の分力は, $gBdy/ds - Tdx/ds$ となる. 同様に, 錘 A にはたらく斜面方向の分力は, $Tdx/ds - gAdq/dr$ となる⁽⁵³⁾.

この解法では、加速法則は次のように述べられている。

もっとも広く受け入れられた動力学の原理を用いると、 $PdS=VdV$ となる (ここで、 P は加速力、 dS は通過する距離の要素、 V は速度) ⁽⁵⁴⁾。

つまり、ここでは 2.2 節で見た振動弦の問題よりも、よりはっきりとした形で加速法則が述べられているのである。

先に求めた斜面方向の分力を起動力として、この加速法則を適用すると、点 B での錘 B の速度を u 、点 A での錘 A の速度を v として、2 つの錘 A 、 B について、それぞれ次の式が得られる。

$$Tdx/A - gdq = vdv, \quad gdy - Tdx/B = udu \quad (55)$$

この式をそれぞれ積分して変形すると、

$$\int Tdx = gAq + \frac{1}{2}Av^2, \quad \int Tdx = gBy - \frac{1}{2}Bu^2 \quad (56)$$

となるので、次の式が得られる。

$$gBy - \frac{1}{2}Bu^2 = gAq + \frac{1}{2}Av^2 \quad (3.3)^{(57)}$$

ここで、 u と v については、3.1 節と同様に、同じ微小時間内に通過した軌道上の微小要素を比べることによって、 $u : v = ds : dr$ となる。また、 u についても 3.1 節と同じく、高さ z から自由落下した速度に等しくなるので、加速法則から、 $gdz = udu$ 、すなわち、 $gz = \frac{1}{2}u^2$ となる。こうした関係を用いて、式(3.3)の u 、 v を z に書き換え、 z について解くと、 z を表わす式が得られる。

$$z = (By - Aq)ds^2 / (Bds^2 + A dr^2) \quad (3.4)^{(58)}$$

もちろんこれは、3.1 節で求めた式(3.2)に一致している。

3.3 二種類の解法の対比とマルテーゼの見解の検討

3.1 節で分析した解法では、活力保存則と“落下法則”が用いられている。つまり、2.1 節で分析した解法と同じ前提から出発している。また、ガリレオに由来する“落下法則”を使って高さを速さに変換しているため、重力が表に出てこないという点も 2.1 節と変わらない。

3.1 節で用いられた活力保存則は、一見すると 2.1 節で用いられた活力保存則よりも複雑な形をしている。2.1 節での活力保存則は、“錘 P の活力と小球 L の活力の合計が一定である”というものであった。これに対して、3.1 節での活力保存則は、

降下する錘と上昇する錘における活力の保存と性質によって、降下する錘の重さと降下距離との積の合計から、上昇する錘の重さと上昇距離との積の総計を差し引いたものは、すべての錘が獲得した活力の合計に等しい⁽⁵⁰⁾

というものである。「すべての錘が獲得した活力の合計」が、錘の速度の増分に対応する活力の増分を意味することはすぐに分かる。では、「降下する錘の

重さと降下距離との積の合計から、上昇する錘の重さと上昇距離との積の総計を差し引いたもの」とは何を意味するのだろうか。

その意味は、これまでの解法で、“落下法則”が自由落下における高さと速度とを交換するために用いられてきたことを考えれば、容易に理解できる。3.1節で分析した問題では、錘BはGからBまで降下し、錘AはFからAまで上昇している。ここで“落下法則”を使って錘Bが降下距離を速度に換算すれば、「降下する錘の重さと降下距離との積」は、今の場合、錘Bが単独で降下した場合に獲得したはずの活力であることが分かる。同様に、「上昇する錘の重さと上昇距離との積」は、今の場合、錘Aが単独で上昇するのに必要な活力であることが分かる。したがって、錘Bが得たはずの活力から錘Aが必要な活力を差し引いたものは、2つの錘からなる系の速度の増分、すなわち系の「すべての錘が獲得した活力の合計」になる。

このように、3.1節で用いられた活力保存則は、一見複雑な形をしていても、系の構成要素に“落下法則”を適用して、単独で下降すれば得たはずの活力や、単独で上昇するのに必要な活力を求めて差し引きすれば、自然と答えを導く式を得ることができるようになっている。活力保存則を用いた解法のこのような特徴は、2.1節でも3.1節でも共通している。

3.2節の解法がこれよりはるかに複雑なことは一見して明らかである。A、Bそれぞれの物体について、張力と重力の斜面方向の成分を考え、それぞれの物体について“加速法則”を適用し、得られた式を積分して張力に関する項を消去することによってようやく式(3.3)を得る。

ヨハン・ベルヌーイ自身、“加速法則”を用いた解法の難しさを指摘している。彼はこの二種類の解法を提示する直前に、二種類の解法を対比して、

活力の理論を用いた間接的な（だが多くの場合非常に便利ではるかに簡潔な）方法と、よく知られており誰でも同意する静力学の原理を用いた直接的だが困難な方法

と書いている⁽⁵⁹⁾。この部分から、ヨハン・ベルヌーイが二種類の解法をどのように理解していたのかを知ることができる。

第1に、彼は二種類の解法を明確に区別している。すなわち、「活力の理論」（保存則）を用いた解法と、「静力学の原理」（加速法則）を用いた解法である。したがって、ヨハン・ベルヌーイが二種類の解法のどちらでも活力保存則を使ったとするマルテーセの見方を取ることはできない。先に2節で「静力学の原理」について、マルテーセの見解の難点を指摘した。その際には、1728年の論文「振動弦について」の文脈と、式の形に関する考察から、「静力学の原理」がニュートンに由来する“加速法則”である可能性が高いことを指摘しておいた。ここで我々は「静力学の原理」が、ニュートンに由来する“加速法則”であるとの解釈を、ヨハン・ベルヌーイ自身の説明によっても補強することが

できるのである。

第2に注目すべきことは、ヨハン・ベルヌーイは、“保存則”を用いた解法を「間接的な」方法と呼び、“加速法則”を用いた解法を「直接的な」方法と呼んでいることだ。2.3 節でも指摘したように、ヨハン・ベルヌーイは、“保存則”を使って問題を解く際には、ガリレオに由来する“落下法則”が必要であることを認識していた。そして、この“落下法則”が、“加速法則”から導出されることも理解していた。したがって、“保存則”を使うためには、(間接的にであれ)“加速法則”が必要になると考えていた可能性が高い。また、“活力論争”のために、“保存則”を用いることに批判的な人々が多かったのに対し、“加速法則”は多くの人々に受け入れられていたことも理解していた。彼が自ら提起した“保存則”を用いる方法を「間接的」と呼び、ニュートンに由来する“加速法則”を用いた解法を「直接的」と呼んだのは、ヨハン・ベルヌーイが冷静にニュートンに由来する方法の長所を認めていたためではなかろうか。このことから判断すると、ヨハン・ベルヌーイが活力理論の優位性を示すために活力保存則を使った理論を展開したというマルテーセの理解には困難があると思われる。

事実、ヨハン・ベルヌーイは、2 節で分析した振動弦の理論について、

活力保存則を用いることによって正確に解答の方針を把握することができたので、まず活力保存則を用いた解答を得たあとで、そこからただちに、いわゆる静力学の原理に基づく解答を導出した

と述べている⁽⁶⁰⁾。ヨハン・ベルヌーイは、振動弦の問題を解く際に、まず活力保存則を用いて問題を把握してから、“加速法則”を使った解答を得たと言っている。このことは、3 節で分析した問題にも当てはまると思われる。すなわち、ヨハン・ベルヌーイは、“保存則”と“加速法則”のどちらも問題解法に有効であると考えていた。彼にとって、“保存則”を用いた解法と、ニュートンの「運動の第二法則」に由来する“加速法則”を用いた解法は対立するものではなかった。むしろ二種類の解法を並列させることによって、それぞれの解法の特徴がよりよく明らかになり、問題を把握することができるようになったと考えられる。

おわりに

今日の力学を知っている我々から見ると、ニュートンに由来する運動方程式と、(エネルギー保存則や運動量保存則などの)“保存則”との間に明確な関係があることは自明である。力学の問題を解く際にはいずれも不可欠な概念であり、問題に応じてどちらの方法を選ぶかを決めることができる。特に力学的エネルギー保存則の成り立つ系では、どちらも原理的には自由に選べる。だが、活力保存則と運動量保存則との関係を巡って“活力論争”が展開されたように、

“保存則”と運動方程式との関係も、初めから自明であったわけではない。

力学において“保存則”の位置付けが真に明確になるには、エネルギー保存則が確立される19世紀の半ばまで待たねばならない⁽⁶¹⁾。そこに至るまでには“保存則”の理解や位置付けを巡って様々な議論や試行錯誤の段階があった⁽⁶²⁾。本稿で分析したヨハン・ベルヌーイの力学研究は、その端緒と捉えられないだろうか。

本稿で指摘したように、従来の研究は、ヨハン・ベルヌーイの力学を分析する際に、“活力論争”という前提を重要視しすぎたために、ヨハン・ベルヌーイの論文を十分に分析したとはいえなかった。例えばマルテーセは、ヨハン・ベルヌーイを熱狂的な活力派であると規定してしまったため、ヨハン・ベルヌーイが1728年と1735年の論文で、同一の問題に対して、“保存則”を使った解法と、ニュートンに由来する“加速法則”を使った解法とを併記したという、理論の基本構造を捉えることができなかった。本稿は、ヨハン・ベルヌーイの論文を“活力論争”という先入観から離れて分析することによって、彼が同一の問題に対して“保存則”を使った解法と“加速法則”を使った解法を併記しているという、彼の論文の基本構造を初めて明確にしたものである。

ヨハン・ベルヌーイが初めから二種類の解法を冷静に比較していたわけではない。2節で指摘したように、1727年の論文「運動の伝達法則について」には、活力概念を擁護したと見なせる表現が見られる。従来の研究は、こうした表現を捉えて、ヨハン・ベルヌーイが活力論者であると思なしてきた。だが、筆者が前稿で指摘したように、ヨハン・ベルヌーイは活力保存則と運動量保存則という2つの“保存則”を使って力学の問題を解くという方向性を提起したのだった⁽⁶³⁾。そして、2節と3節で見たように、ヨハン・ベルヌーイは具体的な問題に対して二種類の解法を併記することによって、それぞれの解法の構造や特徴を解明していったと考えられる。

ヨハン・ベルヌーイにとって、“落下法則”の前提となる重力は、解決困難な問題であった。筆者が前稿で指摘したように、彼が1734年に発表した特異な重力理論は、保存則から重力の効果を導出する試みと思なすことができる⁽⁶⁴⁾。彼は可能ならば、物体の運動から重力を導出する理論を作りたかったのではなかろうか。ただし彼は、信念のために力学理論を損なうことはしなかった。2節と3節で見たように、彼は“落下法則”が重力と“加速法則”から導出されることを明記している。また、1734年の特異な重力理論の中でも、数学としてはニュートンの理論を認めると述べている⁽⁶⁵⁾。このことから分かるように、ヨハン・ベルヌーイは、ニュートンの力学を拒否したわけではなかった。それどころか、2節と3節で見たように、ニュートンの力学の方法に従った解法を整備し、発展させているのである。

本稿の分析によって、ヨハン・ベルヌーイは、1728年と1735年の2つの論文において、“保存則”に基づく力学とニュートンの力学を対立させていないことが明らかになった。したがって、ヨハン・ベルヌーイがニュートン派に属

するとか反ニュートン派に属するといった見方は、ヨハン・ベルヌーイの力学研究を理解する際には無益なだけでなく、不要な予断を与えることになるといえよう。

このような認識は、彼が流体力学の理論を展開した晩年の論文「水力学 (Hydraulica)」⁽⁶⁶⁾の内容を理解する際の重要な前提となる。その分析の詳細は別稿に譲るが、ここで見通しを述べておきたい。彼は1742年に発表した論文「水力学」の中でいわゆる「ベルヌーイの定理」を「運動の第二法則」に由来する「起動力(vis motrix)」の定義から導出している⁽⁶⁷⁾。彼を活力論者と見なしたり、彼の力学研究をニュートンの力学に対立するものと見なしたりしては、論文「水力学」におけるこのような議論はまったく理解できない。あるいはヨハン・ベルヌーイが突然ニュートン派に転じたことになる。興味深いことに、ヨハン・ベルヌーイは、論文「水力学」の中で重力を「非物質的な起動力(vis motrix immaterialis)」と呼んでいる⁽⁶⁸⁾。ここでも彼が重力の独特な性質に戸惑っている様子が窺えるだろう。本稿の分析は、論文「水力学」で展開された流体力学の理論も彼自身の力学研究の中に位置付ける視点を提供するものとなる。すなわち、彼自身が初期に擁護した“保存則”とニュートンに由来する“加速法則”とを行き来するヨハン・ベルヌーイという視点である。

注

- (1) 例えば、ヴィクターJ. カッツ『カッツ 数学史』（上野健爾・三浦伸夫 監訳、中根美千代・高橋秀裕・林知宏・大谷卓史・佐藤賢一・東慎一郎・中沢聡訳）東京、2005年、600-605, 619-634; Carl B. Boyer, *The History of the Calculus and its Conceptual Development*, New York, 1949, 207-242; Herman H. Goldstine, *A History of the Calculus of Variations from the Seventeenth Century through the Nineteenth Century*, New York, 1980, 30-66.
- (2) 野澤聡「ヨハン・ベルヌーイの力学—衝突法則からの再評価—」『科学史研究』第45巻（2006年）1-10頁。
- (3) Giulio Maltese, “Taylor and John Bernoulli on the Vibrating String: Aspects of the Dynamics of the Continuous Systems at the Beginning of the Eighteenth Century,” *Physis*, XXIX (1992), 739.
- (4) “Discours sur les loix de la communication du mouvement,” in *Johannis Bernoulli, M.D. Matheseos Professoris, Regiarum Societatum Parisiensis, Londinensis, Petropolitanae, Berolinensis, Socii &c. Opera Omnia, tam antea sparsim edita, quam hactenus inedita*, 4 toms, Lausanne et Geneve, 1742 (reprint: Hildesheim, 1968), Tom.3, 1-107. なお、本稿では、ヨハン・ベルヌーイの論文の成立年は、*Leonhard Euler Briefwechsel mit Johann (I) Bernoulli und Niklaus (I) Bernoulli*, Leonhardi Euleri Opera Omnia, Ser.IV-A, Tom.2, heraus. von Emil A.

Fellmann und Gleb K. Mikhajlov, unter Mitwirkung von Beatrice Bosshart, Adolf P. Juškevič und Judith Kh. Kopelevič, Basel, 1998 の文献表に記載されたものを用いる。これが現在までの最新の研究に基づいていると考えられるからである。このため、注(2)に掲げた前稿「ヨハン・ベルヌーイの力学」で書いた年号と異なる場合がある。

- (5) 詳しくは、野澤「ヨハン・ベルヌーイの力学」2-5 頁を参照。
- (6) ヨハン・ベルヌーイの時代の数式表記は、現代の表記とやや異なる場合がある。原文の表記と現代の表記が異なる場合、本文では式の読みやすさを考慮して、現代的に表記し、注に原文の表記を示す。式③は、原文では、 $Aaa + Bba = Axx + Byy$ 。 *Johannis Bernoulli Opera Omnia*, Tom.3, 57.
- (7) 書誌情報は注(4)を参照。
- (8) “Theoremata selecta pro conservatione virium vivarum demonstranda et experimentis confirmanda, Excerpta ex Epistolis datis ad filium Danielelem,” 1727, *Johannis Bernoulli Opera Omnia*, Tom.3, 124-130; “Nouvelles pensées sur le Système de M. Descartes, Et la maniere d’en déduire les Orbites & les Aphélie des Planètes,” 1730, *ibid.*, 131-173; “Meditationes De chordis vibrantibus, cum pondusculis aequali intervallo a se invicem dissitis, ubi nimirum ex principio virium vivarum quaeritur numerus vibrationum chordae pro una oscillatione penduli datae longitudinis D,” 1728, *ibid.*, 198-210; “De vera notione Virium vivarum, earumque usu in Dynamicis, ostenso per exemplum, propositum in Comment. Petropolit. Tomi II pag. 200, Dissertatio,” 1735, *ibid.*, 239-260; “Essai d’une nouvelle Physique celeste, Servant à expliquer les principaux Phenomenes du Ciel, & en particulier la cause physique de l’inclinaison des Orbites des Planetes par rapport au plan de l’équateur du Soleil,” 1734, *ibid.*, 261-364; “Solutiones Novorum quorundam Problematum mechanicorum. Excerptae ex litteris ad Filium Danielelem Petropolin datis,” 1730, *ibid.*, 365-375. このうち、1730 年の“Nouvelles pensees”と 1734 年の“Essai”は重力の発生メカニズムを論じたものである。これら 2 編の内容や位置付けについては、野澤「ヨハン・ベルヌーイの力学」5-6 頁を参照。全集には、上記以外に“保存則”を使った解法を含む論考が 2 編収められている。 *Johannis Bernoulli Opera Omnia*, Tom.4, 253-386, 387-493. この 2 編の論考は、どちらも 1738 年以降に書き上げられたものである。このうち、253-386 頁に収められた論考は、1738 年 7 月 30 日付オイラーからの書簡に言及しているため、早くとも 1738 年以降に書かれたことが分かる。 *Ibid.*, 293. また、387-493 頁に収められた論考については、注(66)を参照。
- (9) “Meditationes de chordis vibrantibus, cum pondusculis aequali intervallo a se invicem dissitis, ubi nimirum ex principio virium vivarum quaeritur numerus vibrationum chordae pro una oscillatione Penduli datae longitudinis D,” in *Johannis Bernoulli Opera Omnia*, Tom.3, 198-210.
- (10) トゥルーズデルは、『オイラー全集(Leonhardi Euleri Opera Omnia)』に寄せ

- た長大な序の中で、「複数の自由度を持った系の小振動に関して最初に部分的成功を収めた論考」であると評価している。Clifford A. Truesdell, "The Rational Mechanics of Flexible or Elastic Bodies 1638-1788," in *Leonhardi Euleri Opera Omnia*, Ser.II, Vol.XI, Sect.II, Zurich, 1960, 132. また、次も参照。John T. Cannon, Sigalia Dostrovsky, *The Evolution of Dynamics: Vibration Theory from 1687 to 1742*, New York, 1981, 47-52.
- (11) 例えば、トゥルーズデルは、この論文で用いられている活力保存則を、現代的な力学的エネルギー保存則と同等であるということを解明したが、その数量的関係を提示するに止まっている。Truesdell, "The Rational Mechanics of Flexible or Elastic Bodies," 134.
- (12) Giulio Maltese, "Taylor and John Bernoulli on the Vibrating String: Aspects of the Dynamics of the Continuous Systems at the Beginning of the Eighteenth Century," *Physis*, XXIX (1992), 703-744.
- (13) *Ibid.*, 713.
- (14) *Ibid.*, 724-728.
- (15) *Ibid.*, 727.
- (16) "Chorda vibrans ACDEF &c. cui ad distantias aequales affixa sunt ponduscula aequalia, C, D, E, F, &c. in eam se componere debet figuram, ut singula ponduscula simul perveniant in situm rectilineum AB: unde sequitur, singulorum velocitates, adeoque & vires acceleratrices, proportionales esse debere longitudinibus percurrendis Cc, Dd, Ee, &c.," *Johannis Bernoulli Opera Omnia*, Tom.3, 198.
- (17) Cannon and Dostrovsky, *The Evolution of Dynamics*, 47.
- (18) 例えば、活力を「宇宙における運動継続の唯一の源泉」と表現している。*Johannis Bernoulli Opera Omnia*, Tom.3, 58. また、「連続性の法則(la loy de continuité)」を抽象的に説明している箇所がある。*Ibid.*, 9-10. こうした表現には、ライブニッツの影響が見られる。例えば、P. M. Harman, "Geometry and Nature': Leibniz and Johann Bernoulli's Theory of Motion," *Centaurus*, 21 (1977), 1-26. 野澤「ヨハン・ベルヌーイの力学」2-5 頁も参照.
- (19) "Sit z = altitudini verticali per quam grave libere descendens acquirit velocitatem aequalem illi quam habet punctum L quando pervenit in C, quae velocitas adeo erit $= \sqrt{z}$," *Johannis Bernoulli Opera Omnia*, Tom.3, 200.
- (20) 例えば、Thomas Hankins, "The Reception of Newton's Second Law of Motion in the Eighteenth Century," *Archives internationales d'histoire des sciences*, 20 (1967), 45. ヨハン・ベルヌーイも、最速降下線の問題を論じたときに、「ガリレオがはじめて導入し証明した周知の前提(hypothesin communem a Galilaeo primitus introductam & demonstratam)」と書いている。*Johannis Bernoulli Opera Omnia*, Tom.1, 191.
- (21) 原文では、 $Lz = (a^2 : b) \times P$. *Johannis Bernoulli Opera Omnia*, Tom.3, 200.
- (22) 原文では、 $ap : 2\sqrt{z} = p\sqrt{b.L} : 2\sqrt{P}$. *Ibid.*, 200. 単振動の周期については、ホ

- イヘンス以来よく知られていた。例えば, Joella G. Yoder, *Unrolling Time: Christiaan Huygens and the Mathematization of Nature*, Cambridge, 1988, 48-61.
- (23) 原文では, $2\sqrt{(D.P : AB.L)}$. *Johannis Bernoulli Opera Omnia*, Tom.3, 200.
- (24) *Ibid.*, 203.
- (25) Maltese, “Taylor and John Bernoulli,” 727.
- (26) “...vis trahens punctum L versus C semper est proportionalis distantiae LC,” *Johannis Bernoulli Opera Omnia*, Tom.3, 200.
- (27) “Sit x altitudo per quam descendit, v velocitas in sine descensus, t tempus descensus, M massa ponderis P ; erit $M \times g = P$; $gdx : v = dv$, adeoque $\sqrt{2gx} = v$,” *ibid.*, 203.
- (28) 例えば, Michel Blay, *La naissance de la mécanique analytique: La science du mouvement au tournant des XVII^e et XVIII^e siècles*, Paris, 1992, 180-221.
- (29) 例えば, *Johannis Bernoulli Opera Omnia*, Tom.1, 474 では, いわゆる「中心力の逆問題」を解くために, この関係式を使っている。
- (30) 例えば, Blay, *La naissance de la mécanique analytique*, 280-330.
- (31) 原文では, $t = \sqrt{2x} : \sqrt{g}$. *Johannis Bernoulli Opera Omnia*, Tom.3, 203.
- (32) 原文では, $p\sqrt{D} : 2\sqrt{g}$. *Ibid.*, 204. 重力を受けた物体によるサイクロイド軌道上の運動の研究を開拓したのはホイヘンスである。例えば, マイケル・S・マホーニ『歴史における数学』(佐々木力編訳)東京, 1982年, 191-202頁; Yoder, *Unrolling Time*, 48-63. 若き日のヨハン・ベルヌーイもこの問題に取り組んだ。例えば, *Johannis Bernoulli Opera Omnia*, Tom.1, 187-204, 242-249.
- (33) “Tendat punctum F ad C, viribus quae sunt proportionales distantii FC; demonstratum est, undecunque punctum F incipiat moveri, aequalibus semper temporibus percurrere distantiam FC,” *Johannis Bernoulli Opera Omnia*, Tom.3, 204.
- (34) 原文では, $f \times (a-x)dx : v = dv$. *Ibid.*, 204.
- (35) Maltese, “Taylor and John Bernoulli,” 726.
- (36) *Johannis Bernoulli Opera Omnia*, Tom.3, 200-203, 208-209.
- (37) 原文では, $dt = dx : \sqrt{f(2ax - xx)}$. *Ibid.*, 204.
- (38) 原文では, $p : 2\sqrt{f}$. *Ibid.*, 204.
- (39) 原文では, $2aMg : b$. *Ibid.*, 204.
- (40) 原文では, $p\sqrt{bL} : 2\sqrt{2gM}$. *Ibid.*, 204.
- (41) 原文では, $2\sqrt{(D \times P : AB \times L)}$. *Ibid.*, 204.
- (42) 詳しくは, 野澤「ヨハン・ベルヌーイの力学」4-5頁を参照。
- (43) “prorsus ut in solutione praecedente per vires vivas eruta,” *Johannis Bernoulli Opera Omnia*, Tom.3, 205.
- (44) “De vera notione virium vivarum earumque usu in dynamicis, ostenso per exemplum, propositum in Comment. Petropolit. Tomi II. pag.200,” in *Johannis Bernoulli Opera Omnia*, Tom.3, 239.

- (45) Maltese, "Taylor and John Bernoulli," 712-713.
- (46) "Sit curva data CGB, per quam descendat pondus B, post se trahens sursum aliud minus pondus A, per aliam curvam datum FAC adscensurm ope funiculi ACB, trochleam C ambientis, & binis ponderibus alligati. Quaeruntur velocitates ponderum in quibuslibet locis B & A?," *Johannis Bernoulli Opera Omnia*, Tom.3, 256.
- (47) *Ibid.*, 125.
- (48) "...sitque $z = \text{rectae verticali TV}$, ex cujus altitudine pondus aliquod libere cadens acquirit velocitatem aequalem illi, quam pondus B acquirit in curvae puncto B," *ibid.*, 257.
- (49) 原文では, $dr\sqrt{z} : ds$. *Ibid.*, 257.
- (50) "...ex conservazione & natura virium vivarum in ponderibus descendentibus & ascendentibus, summa productorum ex ponderibus per descensus, demta summa productorum ex ponderibus per adscensus, debet aequari summae acquisitae virium vivarum in universis ponderibus," *ibid.*, 257.
- (51) *Ibid.*, 258.
- (52) 原文には "分力" という用語はなく, 「・・・に沿った力(vis super...)」という表現が用いられている. *Ibid.*, 258.
- (53) 原文では, それぞれ, $gBdy : ds - Tdx : ds$, $Tdx : ds - gAdq : dr$. *Ibid.*, 258.
- (54) "...posito receptissimo principio dynamico, $PdS = VdV$ [ubi P denotat vim acceleratricem, dS elementum spatii percurrendi, & V velocitatem,]," *ibid.*, 258.
- (55) 原文では, それぞれ, $Tdx : A - gdq = vdv$, $gdy - Tdx : B = udu$. *Ibid.*, 258.
- (56) 原文では, それぞれ, $[Tdx = gAq + \frac{1}{2}Avv]$, $[Tdx = gBy - \frac{1}{2}Buu]$. *Ibid.*, 258.
- (57) 原文では, $gBy - \frac{1}{2}Buu = gAq + \frac{1}{2}Avv$. *Ibid.*, 258.
- (58) 原文では, $z = (By - Aq)ds^2 : (Bds^2 + Adr^2)$. *Ibid.*, 259
- (59) "...via indirecta [sed plerumque commodiori, ac magis compendiosa] per Theoriam virium vivarum; altera directa & petita ex notissimis atque a nemine non concessis principiis staticis," *ibid.*, 255.
- (60) "...praecederent solutiones erutae ex doctrina conservationi virium vivarum, hasque statim exciperent alterae ex vulgaribus principiis staticis petitae, quae cum prioribus singulis ad amussim conspirare deprehenduntur," *ibid.*, 256.
- (61) 例えば, Elizabeth Gaber, "Conservation Law," in *The Oxford Companion to the History of Modern Science*, J.L. Heilbron ed. in Chief, New York, 2003, 175-176.
- (62) 例えば, Gaber, "Conservation Law," 175-176. Ivor Grattan-Guinness, "The Varieties of Mechanics by 1800," *Historia Mathematica*, 17 (1990), 317-318 では, 18世紀力学の主な流派が「ニュートンの伝統」「変分力学」「エネルギー力学」の3つに区分されている. 最後の「エネルギー力学」とは, 活力保存則を用いた力学のことである.
- (63) 野澤「ヨハン・ベルヌーイの力学」3-5頁.

(64) *Ibid.*, 5-6.

(65) 例えば, *Johannis Bernoulli Opera Omnia*, Tom.3, 265.

(66) “Johannis Bernoulli *Hydraulica*, nunc primum detecta ac demonstrata directe ex fundamentis pure mechanicis, Anno 1732,” in *Johannis Bernoulli Opera Omnia*, Tom.4, 387-493. 論文「水力学」は, 第1部が1739年に完成し, 第2部が完成したのは, 1740年である. Clifford A. Truesdell, “Rational Fluid Mechanics, 1687-1765,” *Leonhardi Euleri Opera Omnia*, Ser.II, Vol.12, XXXII-XXXIII.

(67) *Ibid.*, 433-437. István Szabó, *Geschichte der mechanischen Prinzipien und ihrer wichtigsten Anwendungen*, Dritte, korrigierte u. erweiterte, heraus. von Peter Zimmermann und Emil A. Fellmann, Basel, 1987, 181-185 も参照.

(68) 例えば, *Johannis Bernoulli Opera Omnia*, Tom.4, 394.

“Conservation Law” and “Acceleration Law” in Johann Bernoulli’s Mechanics

NOZAWA, Satoshi

Abstract:

The author considers relations between Johann Bernoulli’s mature researches on mechanics and those derived from Newton’s *Principia*. Johann Bernoulli has been regarded as a “passionate defender” of *vis viva* (live force) doctrine. Central to his researches on mechanics was an attempt, according to many scholars, to show the superiority of the *vis viva* doctrine over the Newtonian principles of motion. Reexamining carefully Johann Bernoulli’s theory on vibrating string (1728) and his paper on mechanics (1735), the author discovers misinterpretations in these views of Johann Bernoulli’s researches on mechanics. While both the paper of 1728 and 1735 have been considered to be based mainly on the conservation of the *vis viva*, the author shows that each paper offered two solutions for one problem. In these papers, Johann Bernoulli uses the conservation of *vis viva*. In addition, he also uses the acceleration law derived from Newton’s *Principia*. Johann Bernoulli does not claim the superiority of the *vis viva* in these papers. Rather, he develops two solutions in each paper for examining the characteristics, structures and relations of the two solutions. The author suggests that Johann Bernoulli did not study these two solutions (conservation of *vis viva* and acceleration law) exclusively, but he was aware of the relations (although insufficiently) between them. This analysis aims at offering a comprehensive view of Johann Bernoulli’s mature researches on mechanics. It also provides an alternative view for looking at the prehistory of law of conservation of energy in the eighteenth century.

研究ノート

東工大における女子学生：その歴史

Female Students in Tokyo Institute of Technology: From Early Years to the Present

片桐麻衣佳¹

KATAGIRI, Maika

概要

東京工業大学に入学する女性は、大学の内外を問わず特異な存在とみなされる。本論文は、過去に東工大に在学した女子学生を調べることによって、筆者の今後の学生生活、さらには卒業後の生き方への示唆を得ることを目的としている。

最初の東工大の女子学生を特定し、さらに二名の卒業生にインタビューを行って、入学の経緯、学生生活、卒業後の様子など当時の状況をまとめた。また、日本の女子教育史の変遷を簡単にまとめ、東工大の女子学生に関する統計資料の分析をした。他の大学、米国の大学の例と比較も試みた。図1『東京工業大学の学部一年女子数と比率の推移』に示すように、明治以降から現代までを七つの時代に分け、第1～7章にまとめた。そして、東工大に入学する女子学生が、入学制度上の障害のない現代においてなお少ない原因は、理系単科大であることよりも、しれつな受験競争を避ける傾向が女子に強いからであるからであると結論づけた。

はじめに

筆者は2004年4月に東京工業大学（以下東工大）に入学し、現在、工学部機械科学科の4年次に在学している女子学生である。2年次進学時に機械科学科に所属した58人のうち女子学生は、筆者を含め2名に過ぎなかった。もう一人の女子学生が2年次のうちに大学へ来なくなり、筆者は同学年では機械科学科に所属する唯一の女子学生となってしまった。筆者はこれまで幾度となく、大学の同級生や知人に機械を志した理由を問われてきた。そうした問いに違和感を覚えるとともに、機械科学科所属学生としての自負も感じている。このことが東工大に入学した女子学生に関心を持つきっかけとなった。

第1章 戦前の女子高等教育と東京工業大学

第1節 戦前の女子高等教育

1886(明治19)年発令の帝国大学令に、女子入学の禁止条項はなかった。しかし、入学資格を高等学校卒業生に限るため、女子は事実上帝国大学に入学することはできなかった。一方、大学令によらない女子高等教育機関も設立されており、1874(明治7)年創立の東京女子高等師範学校は女子教育の最高峰であった。同校を全国の優秀な女性が目指したが、生活費や学費の点から実家が中層階級以

¹ 東京工業大学工学部機械科学科4年次在学中。本論文は、梶 雅範准教授の指導のもとに文系ゼミの授業で執筆したレポートを、改稿したものである。

上でなければ入学は困難であり、非常に狭き門であった。²

大正時代に入ると女子の入学を認める動きが帝国大学におきた。その先駆けとなったのが東北帝国大学である。1913(大正2)年女子教育の必要性を欧州視察で実感し、また東京、京都帝大との差別化の為、初代学長沢柳政太郎は、高等学校の他、高等師範、高等工業卒、中等教育免許者(女子高等師範卒を含む)に受験資格を与えた。1914年に五名の女性が受験し、牧田らく(数学)、黒田チカ(化学)、丹下ウメ(化学)の三名が合格した。これが、日本の帝国大学史上初の女子学生である。³

丹下ウメは、1873(明治6)年に鹿児島に生まれ、1901(明治34)年に日本女子大学校⁴に家政学部第一期生として入学し、三年後に母校に勤務し、1907年、化学教室で長井長義教授⁵の助手となった。1912年に、文部省中等化学教員検定試験に女子として初めて合格した。1914(大正3)年に東北帝大理科大学に入り、大学院に進んだ後、応用化学教室助手として残った。1921(大正10)年に文部・内務両省より欧米留学を命ぜられ、米国にわたり、Johns Hopkins大学⁶で理学博士号を取った。1929(昭和4)年に帰国し、母校の日本女子大教授となり理学科化学部で食品化学を教える傍ら、理化学研究所の囑託としてビタミンの研究を続け、1940年に農学博士号を取った。1949年に理研を退職した。1951年に病気のため母校の教授を退くまで研究生活一筋に生き、同年78歳で亡くなった。⁷

黒田チカは、1884(明治17)年佐賀県に生まれ、1902(明治35)年に女子高等師範学校理科に入学、1907年に研究科終了後、母校の助教授になった。東北帝大化学科卒業後、1918(大正7)年には、東京化学会で「紫根の色素について」女性理学生として初めて研究発表を行った。1921年文部省外国留学生として英国へ留学。1933年、アメリカを経て帰国した。1924年、理化学研究所囑託となり、真島利行⁸研究室において紫根の成分及び紅花の色素を研究、後者をカーサミンと命名。1929(昭和4)年「紅花の色素カーサミンの構造決定」で女性理学博士第二号となる。1949年お茶の水女子大学が新設され、教授になった。1952年に退官し、名誉教授となった。科学研究の業績によりいくつかの勲章を受け、1968年84歳で亡くなった。女子学生が大学の研究室に残って研究を続けて行く体制がまだ整っていなかった当時、黒田チカをはじめ女性研究者のほとんどが、

² 文献1『近代日本女性史=4 科学』4頁

³ 文献1,5頁

⁴ 1901(明治34)年「女子を人として、婦人として、国民として教育する」という教育方針のもと、日本で創立された女子の大学。家政学部、国文学部、英文学部、英文予科、高等女学校が設置された。[東京女子大学のホームページによる]

⁵ ながいながよし(1845-1929)薬学者。1871(明治4)年、日本政府の第一回国費留学生として独留学。日本薬学会初代会頭。日本薬学の開祖。

⁶ メリーランド州ボルティモアに所在するアメリカを代表する名門私立大学。医学で有名。

⁷ 文献1,65頁

⁸ まじまりこう(1874-1962)有機化学者。1911年東北帝国大学理科大学教授就任。大阪帝国大学総長などを歴任。黒田チカをはじめ多くの女性科学者を育てた。

理化学研究所で研究をしながら、母校その他で女子教育に携わるというコースを通った。理研において、嘱託あるいは実験助手となることが研究を続ける唯一の道であった。⁹

牧田らくは、1888（明治21）年生まれで、東北帝大数学科卒業後、東京女高師の講師となった。1919（大正8）年、洋画家でフランス帰りの画壇の寵児、金山平三¹⁰と結婚した。東北帝大時代から「ただ私は好きで勉強していますが、男の方は将来それで立とうとなさる方ですから邪魔にならぬよう心がけました」というらくは、悩んだ末に夫の希望もあり三年半で教職をはなれた。結婚後は、夫がアトリエにいる時間を勉強時間と定められ、数学の研究は続けた。あまりまとまった時間を作れず、外国の専門書を読破し、目録をつくった。しかし後年、らく自身は、女性が勤めることに否定的になり、「内助の功」を尽くした。丹下ウメ、黒田チカは生涯独身であったのに対し、結婚した牧田らくは、草創期の大学に学びながら、その能力を学問の面で発揮することは無かった。¹¹

九州帝国大学においても1925（大正14）年、法・農学部の受験資格に女高師卒が加えられた。文部省の、「新大学令は制定当時からすでに女子の入学を賢慮したもので、とくに女子を許すという字句はなくとも法の精神はこれを女子にも適用する」との見解に基づいておこなわれた。¹²

表1に示したように、1916（大正5）年に女子学生数は一度ピークをむかえた。これは上記の帝大入学などに伴う女子教育の高まりと、第一次大戦の影響と思われる。しかし、東工大に女子学生が入学するのは、まだ先のことである。

アメリカで、高等教育への門戸が女性に開かれたのは1830年代である。図2に示したように、1870年代には大学生の1/5を占め、短期間に女性比率が急上昇した。しかし、男子大学59%、女子大学12%、共学29%と共学が増加したとはいえ、男女別学が主流であった。その後、共学大学は数、割合の両面で比重を増し、1910年には58%に達し、拡大を続けた。1870年には女子学生の4割が共学に在学し、1920年には8割まで増加した。早くから共学化した公立大が多数の女子学生の入学先となった。アメリカでは、共学大学の増加がその後の女子学生増加の動向につながったようである。公立大学の共学化という点で、日本はアメリカに大きく遅れをとっている。¹³

第2節 戦前の東京工業大学(旧制)における女子学生—折原さだについて

明治政府は、殖産興業策の一環として工業に対する積極的な保護奨励をおこなった。東京帝大工科大学が、当初その教育機関とされていた。しかし高等教

⁹ 文献1, 67頁

¹⁰ かなやま へいぞう（1883-1964）1909年東京美術学校西洋画科を主席で卒業。1957年日本芸術院会員。風景画家。

¹¹ 文献1, 156頁

¹² 文献1, 5頁

¹³ 文献2, 36頁

育に偏していたため、中等教育としての技術教育が必要であるとの認識から、1881(明治14)年5月26日に東工大の前身である東京職工学校が設立された。¹⁴

その後、東京工業学校(1890)、東京高等工業学校(1901)を経て1929(昭和4)年4月1日に、東京工業大学に昇格した。染料化学科、紡織学科、窯業学科、応用化学科、電気化学科、機械工学科、電気工学科及び建築学科の8学科と数学教室、物理学教室、物理化学教室及び分析化学教室の4教室が設置された。同時に制定された学則第十一章委託生の項に「高等学校高等科理科卒業者と同等以上の学力ありと認められたる者は・・・」として、事実上女子の入学を許可した。そして、1931(昭和6)年4月、東京女子高等師範学校理科卒業の折原さだが、委託生として染料化学科に入学した。この年、同科には12名の男子学生も入学した。学年全体では約160名が入学した。¹⁵

折原さだは群馬県前橋出身で、1929(昭和4)年3月に東京女子高等師範学校理科を卒業した。この年、理科を27人、文科を34人が卒業した。当時の学制より、20歳で卒業したと考えると、誕生は1909(明治42)年である。さだが卒業した東京女高師は、1914(大正3)年から学費が原則自費となり、実家が中層以上の社会層出身者でなければ入学できなかった。群馬は養蚕で発展した土地で、さだは後に蚕の研究に携わったほどであるから(後述)、養蚕である程度の財を成した家の出身かもしれない。大正後期の卒業生の二割近くは志望に際して近親者に「婚期が遅れる」「職業婦人はよくない」などと反対されている。女高師には旺盛な向学心を原動力に、進学した者が多かったようである。¹⁶

卒業後教員となることが義務となっていたため、ほぼ全員が教職に就いた。さだも1929(昭和4)年4月から生徒主事補寄宿舎勤務訓導となった。訓導とは附属小学校教師のことである。給料は若い独身女性にとっては恵まれていたようだ。¹⁷

1931(昭和6)年4月に訓導兼助教授を休職して、東京工業大学染料化学科に委託生として入学した。さだが再び学生となって東工大へ入学した経緯はわからない。さだが東京女高師を卒業し付属小教師であった1929、1930年当時、東京女高師では東工大から数名が講師として教えていた。太田勤治は衣服を、菱山衡平は染色をそれぞれ教えていた。彼らが東工大への橋渡しになった可能性もある。特に、菱山衡平は、さだが入学した東工大染料化学科の助教授に1921(大正10)年3月から就いていた。太田勤治は1913(大正2)年4月から東京高等工業学校に勤め、1920年に紡績学科の助教授に、1940(昭和15)年からは教授に就いていた。¹⁸

また、東北帝大出身で真島利行の下で研究をしていた林茂助が、さだの入学

¹⁴ 文献3『東京工業大学六十年史』

¹⁵ 文献4.1『東京工業大学』23, 83, 84頁

¹⁶ 文献5.1『東京女子高師』135頁.文献5.2, 221頁.文献6『お茶の水女子大学百年史』247頁

¹⁷ 文献5.3, 131頁.文6, 250頁

¹⁸ 文献5.5, 140頁.文献3, 643頁.文献5.3, 5.4, 130頁

した前年 1930 (昭和 5) 年 12 月から染料化学の助教授に就いている。黒田チカ
ら多くの女性科学者を育てた真島から、女子教育に対する姿勢を継承していた
かもしれない。¹⁹

さだは入学の 3 年後の 1934 (昭和 9) 年 3 月に東工大染料化学科を卒業する。
このとき 25 歳になっていた。そして 4 月から東京女子高等師範学校の家事助教
授に復職する。その後 1940 年 (31 歳) までに東工大染料化学科の同級生、瀧浦
潔と結婚した。彼についてもいくらか調べることができた。²⁰

瀧浦潔は東京出身で、さだと同年の 1931 (昭和 6) 年 4 月に東工大染料化学
科に入学、1934 年 3 月に卒業した。男子は、高等学校を 19 歳で卒業した後大学
に進学するので、潔は 22 歳で卒業したと考えられる。すると、さだより 3 歳
年下となる。²¹

大正後期の女高師卒業生を対象とした調査では、当時の平均結婚年齢は 26.8
歳で相手男性は 32.7 歳 (比較的再婚が多い)、一般女性は 23.1 歳で男性は 27.1
歳であった。さだは、東工大卒業以降に結婚したと考え、25~31 歳での結
婚となり、女高師卒のなかでは標準もしくは遅かった。夫が妻より 3 歳年下と
いうさだの結婚は、当時としては極めて稀なことだったようである。大正後期
の女高師卒業生のうち、65%が見合い結婚を、23%が恋愛結婚をしている。この
23%というのは一般女性の 10%を大きく上回る。女高師では男性との交際が厳
禁されていたようだが、さだは相手が同級生であるから、恋愛結婚ではないだ
ろうか。夫の職業は、教員が 4 割で最も多く高学歴が圧倒的に多かったが、こ
のことはさだにもあてはまる。²²

さだは結婚後も東京市小石川区原町一二に住み、東京女高師に勤め、1944 (昭
和 19) 年にはエリ蚕²³の飼育実験を行ったのではないかと推測される次の記録²⁴
が残されている。

昭和十九年頃～。絹は落下傘を作るために絶対必要だったので、軍部はエリ
蚕 (襟蚕または神蚕) という発育の速い蚕に注目し、その飼育実験が本校の被
服材料担当滝田 [滝浦の誤記と思われる] さだ教授に依頼された。

さだは、終戦翌年の 1946 (昭和 21) 年 3 月に退職²⁵した。夫の潔は、東工大
卒業後に薬学博士をとり、大阪大学に勤めた。潔の就任年は不明だがさだの退
職はこれが原因かもしれない。その後、潔は大阪大学名誉教授にまでなり、1979
(昭和 54) 年には日本薬学会教育賞を受賞し、武庫川女子薬大 (兵庫県西宮市)
講師も勤めた。²⁶

¹⁹ 文献 7『東京工業大学人国記 東工大史記』

²⁰ 文献 4.2『東京工業大学』96 頁。文献 5.4, 130 頁。文献 8『桜蔭會史』971 頁

²¹ 文献 4.1, 84 頁。文献 4.2, 96 頁

²² 文献 6, 251, 252 頁, 地域社会研究所「お茶の水出の五十年—高学歴女性の生活史と老
後生活」(「高齢を生きる 七号」昭和五十年)

²³ 山繭の仲間でその絹は丈夫で高級品であった

²⁴ 文献 6 より引用。[] は社団法人桜蔭会による補足。

²⁵ 桜蔭会が各所から書き取った情報が集積しているリストによるもので、引用元は不明。

²⁶ 文献 9『日本薬学会教育賞受賞者』

大正後期の女高師卒業生の、教員としての教員勤務年数の平均は24.8年で、15年を超えるのは59%に達する。さだの在職年は東工大在学を含めると17年である。文献9『櫻蔭會史』卒業11年後の記録によると彼女の同期は、7年前後で結婚退職しているものが半数弱で、その他は結婚後も職についている。なお、同名簿において同級生は結婚相手やその職業等詳しく掲載しているのに対し、さだは改姓したことのみ記述であり、気になるところだが理由はわからない。²⁷

戦前は独身の科学者が多く、家庭と仕事の両立は困難であったようだ。さだの選択は、前出の日本初の帝国大学女子学生3人のうちの一人牧田らくと同様である。筆者の祖母は戦前小学校教師を勤めて結婚退職したが、さまざまな主婦の活動で中心的存在になるなど、主婦となって後も彼女たちの社会でその能力を発揮していた。まして、さだをはじめ女性の最高学府であった東京女高師の卒業生は、退職後も活躍したと推察される。

さだと夫の潔は大阪市東灘区に住み、潔は1994(平成6)年1月23日に82歳で亡くなったが、さだの没年は不明で、1989～1996年(平成元～8)年の間に80～88歳で亡くなったと思われる。彼女たち夫婦に子供がいたかどうかは確認できなかった。²⁸

以上が、東工大初の女子学生についてわかったことである。さだについての資料が少なかったことについて、目立った存在ではなかったからではないかというのが、調査でお世話になったお茶大附属図書館や桜蔭会の職員の見解である。東工大に進学するぐらいであるから、目立った女性だと予想していたが、それを裏付ける資料をみつけることはできなかった。蔵前同窓会を通して親族への接触を試みたが、さだと夫の潔はともに筆者の調査の十年以上前に亡くなっており、残っているものは何もないということで、親族の連絡先を教えてもらうことはできなかった。

折原さだ以降、戦前に東工大の学部に入學した女子学生を見つけることはできなかった。大学の在學女性に関する当時の資料を発見することはできなかったが、学生ではない職員として数人の女性をみつけた。藤田けいが1903(明治36)年10月から翌年9月まで、深田テルが1926(大正15)年4月から昭和5年3月まで勤めていた。²⁹

第2章 戦中の女子高等教育と東京工業大学

第1節 戦中の日本の女子高等教育

欧米に遅れをとってはならないと、文部省の教育審議会が1940(昭和15)年9月に提出した大学の改革要綱に、工・理の拡充、女子大学の創設がもりこまれた。さらに、戦争が長引くにつれ(1941年日米開戦)男子の科学技術者が不足し、理科の女子専門学校設置が奨励された。1943(昭和18)年津田英語塾に物理

²⁷ 文献8『櫻蔭會史』970,971頁、文献6『お茶の水女子大学百年史』251頁

²⁸ 文献10『蔵前学員誌』

²⁹ 文献3『東京工業大学六十年史』643頁

化学科と数学科が設置され、津田塾専門学校に改称した³⁰。理数系学科を設置しなければ戦時下で存続できないという背景があった。³¹

しかし、増設の一方で勤労働員、期間短縮(1941年~)と教育内容が貧しくなっていた。工場に動員されるよりはと上級学校への進学者が増え、なかでも理系は男子に徴兵延期があったため親も理科を望み、子は国に尽くしたいと理科を選ぶようになった。そして表1に示したように第二次大戦時に女子学生数は、二度目のピークをむかえる。³²

1913(大正2)年に三人の女子大学生が誕生してから14年後、女性学位取得者も誕生した³³。

理学：保井コノ，香川出身，東京女高師卒，1927年4月20日，(東京大)学位

薬学：鈴木ひでる，愛知出身，日本女子大卒，1937年1月12日，(東京大)学位

農学：辻村みちよ，埼玉出身，東京女高師卒，1932年6月8日，(東京大)学位

医学：西村庚子，東京出身，東京女子医専卒，1930年1月8日，(東京大)学位

工学分野で女性学位取得者が誕生するのは、彼らに遅れること30年以上後の1961(昭和36)年のことである(第3章で述べる)。

アメリカでは、図2に示したように、第二次大戦中は男性学生が減少したため、女性比率は1943年には50%にまで上昇した。³⁴

第2節 戦中の東京工業大学

第一次大戦の反動的な不景気は、1931(昭和6)年の満州事変を境に好転して行く。生産力拡充と軍需インフレに刺激され、日本の工業は量と質において高度化を目指した。軍需工業の発展で、東工大の位置は極めて重視されるようになり、学科の新設、学生の募集増加などが続いた。1939年には航空機工学科、翌年には化学工学科が新設された。この時代に女子学生が存在したという記録を見つけることは出来なかった。³⁵

第3章 1960年代前半までの女子高等教育と東京工業大学

第1節 戦後の女子高等教育

1949(昭和24)年の学制改革で教育の機会均等がうたわれ、入学制度上の男女差はなくなった。図3に示したように、日本全体では戦後20年の間に女子学生数は2倍以上に増加した。

終戦直後、男子科学技術者はまだ少なく、女子学生の就職難ということは余りなかった。意欲があれば研究や教職の道を選ぶことができた。女子が比較的

³⁰戦後、津田塾大学が設立され(1948年)、津田塾専門学校が最後の卒業生を出した1951年3月に、物理化学科は廃止された。

³¹ 文献1『近代日本女性史=4 科学』8頁

³² 文献1, 8頁

³³ 文献1, 217頁

³⁴ 文献2, 36頁

³⁵ 文献3『東京工業大学六十年史』

長く勤められるのは、公務員試験に合格して研究職に入る場合であった。³⁶

例えば、1943年と1948年の津田塾(1943年に津田英学塾から津田塾専門学校になり、48年に津田塾大学となる)の理科(数学科と物理化学科)卒業生を見ると、卒業直後にほとんどが就職している。その後結婚・出産でやめるか、十数年後に夫の転勤で辞めている例が多い。少数の独身又は子のいない人が研究者を続けた。大学や研究所で手伝的な仕事だと数年でやめるが、生活のためや責任のある仕事に就いていると長続きしている。

1953(昭和28)～1963(昭和38)年に卒業した女子大生³⁷を対象とした『暮らしの手帖』の調査では、1953年卒に長く働いている人が最多で、1963年卒に早くやめる人が最多となっている。前者は女子も入学できると感激した世代で、後者は何となく入学した世代と考えられよう。³⁸

1960年代、他の分野に遅れること30年で漸く女性工学博士が現れた。³⁹

工学：菅野信子，埼玉出身，東京女高師卒，1961年7月27日(東京大)学位
佐藤公子，横浜出身，津田塾卒，1962年3月13日(東工大)学位

第2節 戦後の東京工業大学と女子学生

1949(昭和24)年5月31日に国立学校設置法公布により東工大は新制となり、工学部が設置された。さらに1953年4月1日には、大学院工学研究科が設置された。表2と図4に示したように、女子が入学しない年度もあり、入っても1人か2人という状況が続いた。戦後最初に東工大に女子学生として、1947(昭和22)年入学のS氏の例がある。

大手電気関連企業の創業家出身で、S氏自身は電気工学科入学に特に抵抗はなかったようだが、東工大へのS氏の入学は例外的と言え、当時彼女以外に文献11や東工大の事務局資料でも女子学生在学の例を発見することはできなかった。表2や図1の当時の人数は、改姓していることを基準に女性と判断した人数である。戦前は独身の科学者が多く、家庭と仕事の両立は困難であったが、結婚後も大学などの研究機関に就いている人もいる。しかし、大半の結婚(改姓)した女性は、名簿に勤務先が記されていなかった。S氏も「一寸時代が早かったので、私は仕事をするを考えず、主婦を本職としました」と筆者の問い合わせに対して手紙で答えている。

また文献11では、大学院へ入学した女子学生も数名確認することができた。分野は、理学系が多い。東工大に大学院工学研究科が設置された1953年4月に、第1章で取り上げた折原さだに次いで、お茶大卒の女性が物理学専攻に入学した。彼女は大学院初の女子学生で、1960年に東工大女性として初めて学位をとった。

³⁶ 文献1, 17頁

³⁷ お茶の水女子，東京女子，津田塾，日本女子，早稲田，慶応の女子学生

³⁸ 文献1『近代日本女性史=4 科学』24頁

³⁹ 文献1, 217頁

第4章 1960年代後半-1970年代前半の東京工業大学における女子学生

第1節 1960年代後半から1970年代前半の女子学生

図3に示したように日本全体では女子学生は増加を続け、その割合は16～21%になった。1962(昭和37)年ごろに「女子学生亡国論」が騒がれた。共学の文、教分野で女子のほうが多くなったが、平均就職年限4年で社会に寄与しないと嘆いたものであった。⁴⁰

アメリカでは、図2に示したように1960年代半ばにベビーブーマーが大学年齢に達し、また進学志望者の一般的増加によって高等教育は爆発的に拡大した。⁴¹

第2節 1960年代後半-1970年代前半の東京工業大学の女子学生

1960年代半ばを過ぎると、東工大にも毎年女子学生が入学するようになった。1960年に大学拡充の一環で、理、工、人文・社会の三分野を支柱とする方針がだされた。1966(昭和41)年4月国内初の社会工学科が設置されたことも、女子学生の増加につながったと考えられる。しかし、表2や図1に示したように、入学者は二桁に達することはなかった。また、表3と図4に示したように全体でも女子の割合は1%以下であった。⁴²

東京工業大学名誉教授で現百年記念館特任教授の道家達将先生に、筆者が本調査を開始した2006年5月に話を伺った際、1967年に東工大に入学したI氏を紹介していただき、インタビューすることができた。

I氏は、東京都出身で1967(昭和42)年に応用物理学科に入学した。同期には女子学生がもう一人いた。東工大を志望するにあたり、両親は特に反対しなかった。姉もまた「変なところに行くね」と言うだけだったとのことだ。理系科目が得意で、他の理系大学より受験科目中理系の比率が高く東工大にしたので、女子が少ないことは仕方ないと思っていた。

入学式早々に、「(女子が合格した分不合格となった)一人の男の人生が狂った」と男子学生に言われたというし、スロープで同期の女子学生と昼食を食べていた時、彼女たちを女子大の学生だと思った男子学生に声をかけられたが、東工大生とわかると彼らは逃げていったともいう。余り協力できる同級生がいなかったのも、実習系の授業はやりにくかったそう。なかには「ノートいる？」といってくる男子学生も数人はいたが、当時の東工大で彼女たちと話できた男子学生は、社会工学か建築に進む割合が高く、姉妹がいるなど女性と話すのに抵抗がなく、ことさらに異性であることを意識しない人たちだったとのことだ。

そんな彼女を支えていたのは、サークルや部活動だったそう。「サークル活動がなかったら私の4年間は意味がなかった。卒業まで在籍していなかっただろう」と話してくれた。院生は研究室という居場所があるが、学部生にはない。授業はほとんど出ずに部室に行っていた。サークルや部活動は居場所を提供し

⁴⁰ 文献1『近代日本女性史=4 科学』20頁

⁴¹ 文献2, 36頁

⁴² 文献11『東京工業大学』

てくれた。所属していた管弦楽団は、一橋、お茶の水、外大、音大などと東工大よりも他大学の人と付き合いがあった。同級の女子学生とはほとんど付き合いがなかったそうだ。筆者の大学での友人関係(第7章で後述)は高校までとはずいぶん変わったと述べると、「大人になると、何でも一緒という友人でなく、仕事など自分の中のある要素で共感できる人ができる」と話していただいた。

学生時代自分で作った服を着ていたというし、美術部にも所属していたI氏は、親戚に「まさか卒業しないってことはないわよね」といわれ、学位をとって損はないと東工大を卒業したものの、卒業後「清水の舞台から飛び下りる覚悟で」美術学校に入学したという。美術界では東工大というのは「デッサンができない」など負のイメージで、自分でもその経歴は消しゴムで消したいくらいだと思ったこともあったそうだ。悲壮感があったが、「まわり道でもよい、自分の人生の責任は自分でとろう」と思っていた。「そうやって進路をかえられるのは女だからだ」と言う男性もいた。こういったことをこれまで何度も言われたが、「私はその道を選択し、彼はしなかっただけ」と言わせておいたそうだ。I氏によれば、「前の世代より先駆者だという気負いはなかった」そうだが、強い意志を持ってご自身の道を歩まれてきたと感じた。

I氏は2003年に作品が東工大で展示され、現在は特任教授として東工大の教育にも携わっている。以下は、卒業生を紹介する東工大の広報誌⁴³に掲載されたI氏の文章の一部を抜粋したものである。

「キュリー夫人にあこがれて東工大に入学した」が、子どもの頃から抱いていた芸術への夢をあきらめきれず、大学3年生の頃には、卒業後に美術学校へ入り直して絵画を学ぶ決意を固める。卒業後、美術学校に行った。工学技術を芸術に活かした作品に取り組み、応用物理学科の卒業生として、母校である東工大の研究生となった。創作意欲は抑えがたく、研究室にある機材を活用して作品を制作し、個展などで発表していたという。

研究生を辞めた後は、マサチューセッツ工科大学が科学と芸術の融合を図る目的で開設した高等視覚研究所に、フェローの身分で籍を置くことになった。そして、次第に活躍の場を世界に広げている。

道家達将先生によれば、女子学生が増加する1960年代末以前は、活発で男性の中でもやっつけていける女子学生が入学したということだが、I氏はそうしたタイプだろう。

第5章 1970年代後半-1980年代前半の東京工業大学における女子学生

第1節 1970年代後半から1980年代前半の日本の女子学生

図3に示したように、1960年代以降の増加傾向は緩まるが微増を続けた。割合は21%から23%へわずかに伸びた。

⁴³ 文献12『TechTechーてくてくー』「時代を創るセンパイたち」

一方アメリカでは、図1に示したように、70年代後半に入って男性学生数が下降又は停滞したが女性の進出は続き、1978年にほぼ同数となり、以後は一貫して女性が過半数を超えている。

第2節 1970年代後半から1980年代前半の東京工業大学の女子学生

表2と図1に示したように、毎年の入学女子数が10人を超え、30人前後まで増える。全学生に対する割合は、1%から3%まで伸びた。表3と図4に示したように、この十年間で30人から110人までコンスタントに増加した。ただし、留年者は重複して数えている。

また、1975(昭和50)年4月に大学院総合理工学研究科が設置され、物理情報工学、電子化学、社会開発工学、精密機械システム、材料科学、電子システム、化学環境工学、生命化学、エネルギー科学及びシステム科学の10専攻となる。この頃から、東工大は大学院大学になり、文系の研究室ができたことで他大学から女子学生が大学院へ入学するようになり、学内で女性を見かけることも多くなったようだ。

1976年に情報学科に入学したO氏を、I氏から紹介していただき、インタビューすることができた。

O氏は1976年に入学し、1980年に情報科学科を卒業した。埼玉県出身で都内の国立大附属高校を卒業し、自宅から通学した。東工大入学志望に際し、父親は結婚するのが女の幸せだと反対したが、母親は女も経済的に自立してほしいと賛成したという。本人は、専業主婦になるのは嫌だったそうだ。数学が得意で、他の大学でも理学学部での男女比は変わらなかったから、どこに行っても同じだと東工大に決めたという。

そうして入学した東工大で、「女子の存在は誤差範囲だ」といわれたのが印象に残っているそうだ。だいたいどこでも女子1人だったが、男女の別なく仲良くして、課題などもよく教えてもらった。ジーパン、Tシャツ姿で登校し、化粧は就職活動で初めてしたとのことだ。テニスサークルに所属していた。女子大の人もいたが、自分とはタイプが違い、余り仲良くならなかったそうだ。困ったことといえば、トイレだったという。当時の本館は女子トイレが非常に少なく、行きたくなってから行くのではなく、通りがかった時に済ませていたそうである。女子学生のネットワークがあり、学部の女子学生名簿(住所含む)をつくっていた。

卒論で所属した研究室の教授は女性だった。男子の就職状況は回復していたが、女子は就職難で、NECでは縁故がないと駄目といわれたという。結局、女性の登用に積極的だった百貨店に総合職で就職し、経営企画室に所属した。8年勤めたが、流行を追うだけに違和感を持ち退社した。在職中お茶汲みなど女性の役割とされた仕事をやらされそうな時もあったが、なるべくやらないようにしたという。けれど、強硬に反発すると男性と同等の仕事を与えてもらえなくなるので、意志を曲げずにやんわりと対応するバランスがむずかしかったそうだ。

その後、ベンチャー企業に15年勤め、情報処理の能力を発揮した。その会

社が倒産すると、1年間は失業保険でぶらっとし、友人とソフトウェア開発や起業支援の会社を設立した。現在は、「東工大の人は、その手（起業等）のことが苦手だから」と、蔵前ベンチャー相談員もつとめる。同級生で専業主婦になった人もいたが、そうなりたくなかった彼女は、理系の夫と結婚し娘がいる。

筆者の興味から東工大卒の女性に対する周囲の反応はどうだったのか尋ねた。初対面で東工大出の女性ということの印象が強いが、しばらくすればとくに東工大というのは意識されなくなり、東工大出というのがマイナスにはたらくことは決してなかったという。

1980年代に入ると、表2と図1に示したように、毎年の入学女子数も20人を超えた。

女子学生が東工大の中で少数派でありながらも、勉強やサークルなど、前章の時代よりも活動範囲を広げたようだ。しかし、女子学生の存在が「誤差範囲」を超え無視できなくなると、異なった類の問題も起きるようになったようだ。インタビューをして、全女子学生が彼女のようにであったはずはないだろうが、彼女がのびのびと自分らしく学生生活を送っていたのだろうと感じた。しかし、卒業後の社会では、同じ学歴でも男女間には大きな差が存在し、困難なことも多かったようだが、インタビューに応じていただいたO氏は、そんな戦いをしなやかにくぐりぬけてきた、笑顔を絶やさない方だった。

第6章 1980年代後半-1990年代の東京工業大学における女子学生

第1節 1980年代後半から1990年代の日本の女子学生

図3に示したように再び増加傾向が強まり、その割合はこの15年間で23%から36%まで伸びた。図5に示したように、教育系に進む女子学生の割合が下がり、社会科学の割合が大きくなった。工学も1%弱から5%まで増加した。理学と医学系は2%強と変わっていない。人文科学は緩やかに減少している。図6に示したように、専攻内での男女比率では、工学は3%弱から10%に、理学が15%から25%に、医学が17%から33%に増加した。薬学は6割強を女子が占め、理系分野中特出している。医学、薬学は国家資格を得られる分野であることが最大の理由であろう。

アメリカでは、図2に示したように、女子学生比率は5割強を維持している。

第2節 1980年代後半から1990年代の東京工業大学の女子学生

1986(昭和61)年、理学部に生命理学科、工学部に生物工学科が、1988(昭和63)年には理学部に生体機構学科、工学部に生体分子工学科が設置された。さらに1990(平成2)年6月19日には、以上の理学部の生命理学科および生体機構学科ならびに工学部の生物工学科及び生体分子工学科を振替、生命理工学部が設置された。

これを期に、表2と図1、また表3と図4に示したように、入学女子学生は80年代前半の増加傾向をさらに強め、その割合はこの15年間で3%から11%と1割を占めるまでに伸びた。その増加率は日本全体を上回っている。

『東京工業大学大学要覧』より、当時の各学科四年次在学女性数の推移を

みると、数学や機械系の学科では目立った増加は見られない。しかし、一部の機械系の学科や情報工学、土木工学、材料系でわずかに増加している。化学系や、建築、生物系では女子学生の割合が大きく増加し、建築では2004年に39%まで達した。歴史的には最も早い段階で（第3章以後）女子が入学した理学系分野では女子数が伸びていないのに対し、化学系や建築などこの時期に増設された学科でなくとも女子数が増加している。

第7章 2000年代の東京工業大学における女子学生

第1節 2000年代の日本の女子大学生

図3に示したように、割合が4割弱に達してからは増加が緩まり、頭打ちを予測させるような推移をみせている。図5で分野別のばらつきをみると、前章の傾向を維持している。図6に示すように、この時期も前章までの傾向を維持しているが、薬学が前章期間の1995年の63%をピークに減少を始め、2005年には56%に落ちた。これは、第4章で取り上げた「女子学生亡国論」に通じるもので、女子の割合の拡大を憂慮した大学側が、面接等で男子を多くとるようになったためではないだろうか。

第2節 2000年代の東京工業大学の女子学生

表2と図1及び表3と図4に示したように、2000年をピークに入学者女子が減少し1割を下回った後、再び2006年に2000年と同水準まで回復した。この現象の理由は明らかでないが、少子化や不景気、景気回復とも関係があるとも考えられる。

現在の東工大の女子学生は関東出身者が多いというのが筆者の印象である。全国から東京に出ようとする人が減り、その傾向は女子により強かったために、女子数が減少したのではないかと考えられる。筆者は、北海道札幌市の公立高校出身である。同級生40人のうち、現役で道外の大学に進学したのは筆者だけであった。もともとは道外の大学志望であったが、生活費などの経済的な問題でレベルを下げて地元の大学に進むものもいた。筆者の母校は例年道外へ進学する者も多かったが、傾向が変わってきたと、長年勤めてきた母校の教師がおしゃっていた。

筆者は2004年に機械系の4類⁴⁴に入学した。200人の4類入学生のうち女子は、筆者と中国人留学生1人を含め6人であった。入学直後は、留学生を除く5人でサークル見学などをしていたが、数日でみな単独行動を始めた。筆者はトライアスロン⁴⁵部に入部した。

やりたいことをやらねば大学生活を自分らしく楽しむことはできないと、女子部員のいないトライアスロン部の部室へ1人で行った。2年次に勧誘する側になって、どのサークルに入るかを決めるときに、「他に女の子が入れれば入る」

⁴⁴ 機械科学科，機械宇宙学科，機械知能学科，制御システム工学科，経営システム工学科に2年次より進学

⁴⁵ 水泳，自転車，長距離走を連続してする競技

と考えるか、「女子部員がいようがいまいが、やりたいことだから入部する」という二種類の女子学生がいることに気づいた。

入学後3年がたったが、筆者は学科学部どちらにおいても、自分らしく居心地のよい学生生活を満喫している。1年次は、毎日講義があり学内を動き回る日々だった。類内に話のできる友人もほとんどいなく、疎外感を募らせていたが、「部は私を受け入れてくれる」と部活動を心のよりどころとして助けられた。トライアスロン部では、個人競技という性質上、互いの競技レベルを尊重し自主練習を基本としているが、練習内容が一致すれば一緒に練習する。干渉しないが応援しあう雰囲気は筆者にとって居心地のよい場を提供してくれた。2年次から、機械科学科に進み、58人中女子2人という状況になった。教室は、石川台地区⁴⁶の小規模なものになり、学生の顔ぶれも一定になって、友人も増え、学科生活も楽しめるようになった。周りの男子学生も筆者になれたようで、話しかける人も増えた。後期には6人ほどのグループで各研究室を回る実験も始まり、より一層周囲に慣れ親しんでいった。

もうひとりの同学科の女子学生は、周囲とほとんど話をする人ではなかった。そして、2年次後期から授業にほとんど姿を見せなくなった。精神的なトラブルを抱えたことが原因のようだ。3年次前期で復帰の準備をしていたようだが、その後の様子はわからず、実際彼女は留年した。筆者は初めの頃は、レポートや授業の連絡をしていたが、しだいに疎遠になった。もっと積極的にかかわればよいのだろうかと考えたこともあったが、筆者自身の生活もあったし、彼女自身に確かな復帰の意志を感じられなかったこともあって結局は疎遠になってしまった。現在の東工大の機械系には、女子学生が少なかった1960年代後半から1970年代前半(第4章)と同じく、女子学生が孤立しやすい雰囲気があるようだ。

同じ4類の同期で他学科に進んだ女子学生と学内で会うと、学生生活について話が尽きない。学外で会って、買物に行ったり食事をしたりという関係ではないが、勉強に対する姿勢や、部活動の自分の中での位置づけなど、共感する部分が多い。また7類⁴⁷の友人は、筆者と同様単独で行動することを躊躇しない。二人の付き合いも、すべてべったり行動を共にするのではなく、共通の趣味の部分で楽しむというものだ。何でも話をする高校時代の友人とは性質が異なるが、充実感を得られる関係だ。

他の類の東工大女子学生とは、更衣室や文系科目で会う。女子の多い類の女子学生は、集団で行動する傾向があると思っていたが、個人として付き合いと、独立心の強い人だと印象を改めることがあった。しかし、専門書の翻訳といった結婚後に家庭内できる職につながることを勉強しているという学生もいる。女の子だからそこまで勉強しなくてもね、と言った女子学生もいた。

他の大学の女子学生と比較するため、同じ東京に立地する他の国立大学の東京大学と一橋大学の学部在学学生数を調べた。表4のように文系の一橋大学は、

⁴⁶ 機械系の建物が集中する大岡山キャンパスの一地区

⁴⁷ 生命理工学部で女子の比率が最も高い類

26%であった。表5のように東大は総合大学であるが、女子の比率は15%にとどまっている。

東工大に女性が少ないのは、理系単科大学であることよりも、長く熾烈な受験競争を避ける傾向が女子に強いからであると筆者は考える。たとえば、本文で指摘したように筆者の高校時代の同級生は、親元を離れない傾向があった。また、東工大を目指すほど勉強をするのなら、資格や手に職を得られる医学や薬学を選択した方が将来の安定が保証されていると考える女子生徒が多いのではないだろうか。

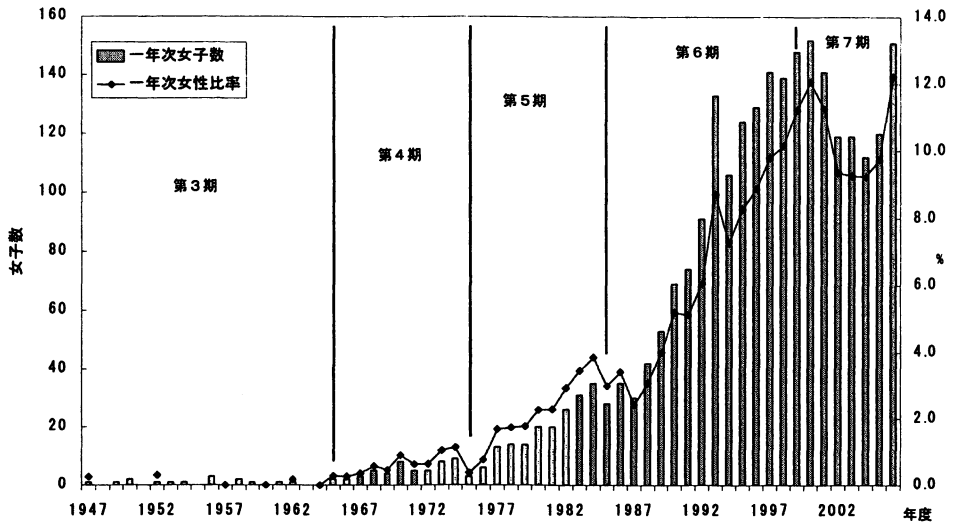
おわりに

東工大の女子学生の歴史を、一年をかけてたどった。過去の東工大の女子学生が特異な存在であることとどのように折り合いを付けて生きたのかを知り、多くの示唆を得た。その結果、自分を信じて生きることが最も大切だと考えるようになった。以前は、「自信」という言葉に、「驕り」や「慢心」といったことを筆者は感じていたが、今はより前向きなものを感じるようになった。歴史を知ることは未来への示唆を得ることだと身を以て体験した。東工大の女子学生が切り開いてきた道を彼女たちに習いながらも自分らしく歩んで行きたい。

参考文献

- 1 山下愛子編『近代日本女性史＝4 科学』鹿島出版会、1970年
- 2 ホーン川嶋遥子『大学教育とジェンダー ジェンダーはアメリカの大学をどう変革したか』東信堂、2004年
- 3 東京工業大学編『東京工業大学六十年史』1940年
- 4 『東京工業大学』東京工業大学會計課中央印刷室
- 4.1 1933(昭和8)年、4.2 1934(昭和9)年
- 5 『東京女子高等師範学校、第六臨時教員養成所一覽』
- 5.1 1927(昭和2)年度、5.2 1928(昭和3)年度、5.3 1929(昭和4)年度、5.4 1930(昭和5)年度、5.5 1931(昭和6)年度、5.6 1934(昭和9)年度
- 6 お茶の水女子大学百年史刊行委員会『お茶の水女子大学百年史』1984年
- 7 (社)蔵前工業会編『東京工業大学人国記 東工大史記』1995年
- 8 桜蔭會編『桜蔭會史』1940年
- 9 『日本薬学会教育賞受賞 <http://www.pharm.or.jp/whats/pdfs/18syo07.pdf>
- 10 『蔵前学員誌 平成8年版』
- 11 東京工業大学編『東京工業大学百年史』1985年
- 12 『TechTechへてくてくへ(東京工業大学広報誌)』第6号「時代を創るセンパイたち」(http://www.titech.ac.jp/publications/j/techtech06/04_1.html)

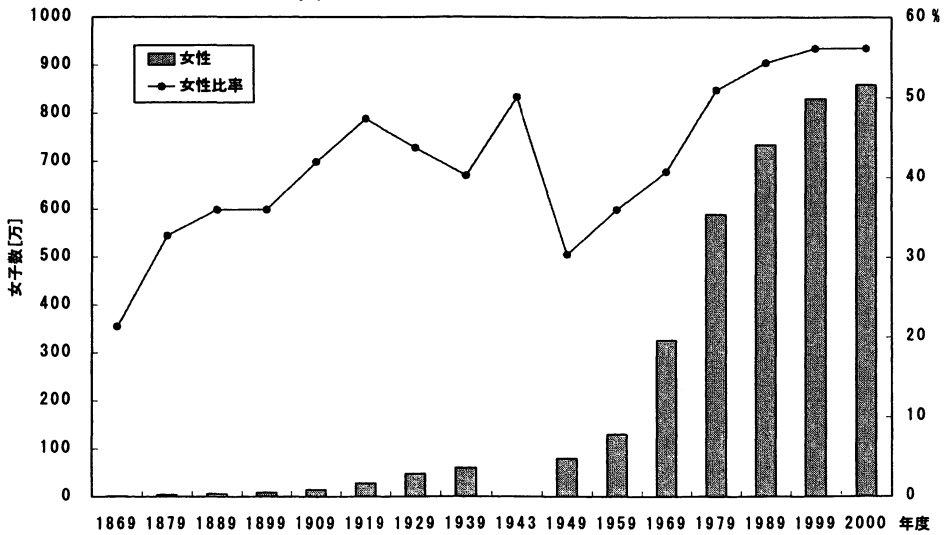
図1 東京工業大学の学部一年在学女子数と比率の推移



出典 表2参照

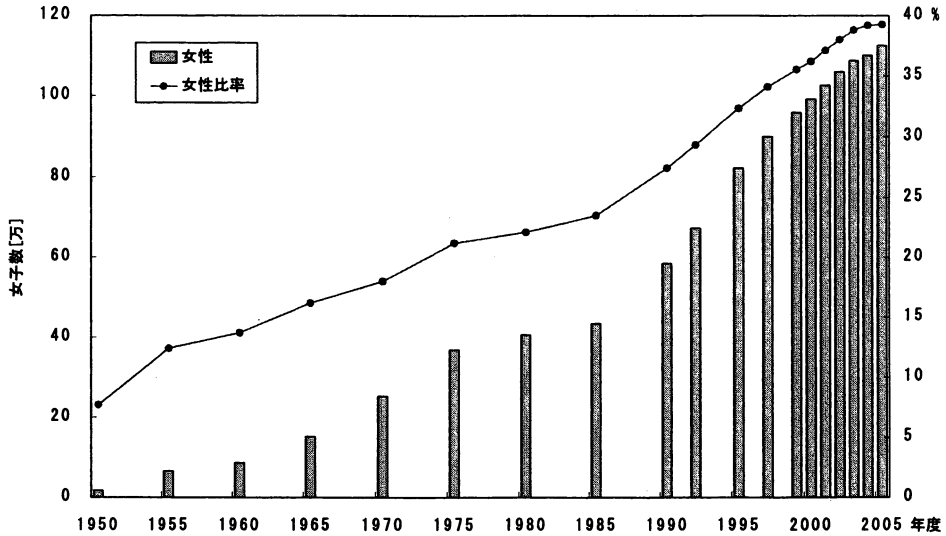
注：網掛け部は不正確で大学提示の数字ではない 留年者は重複している

図2 米国の女子学生数と比率の推移



出典 文献2-P38/NCES, Digest of Education Statistics, 2002, 表171

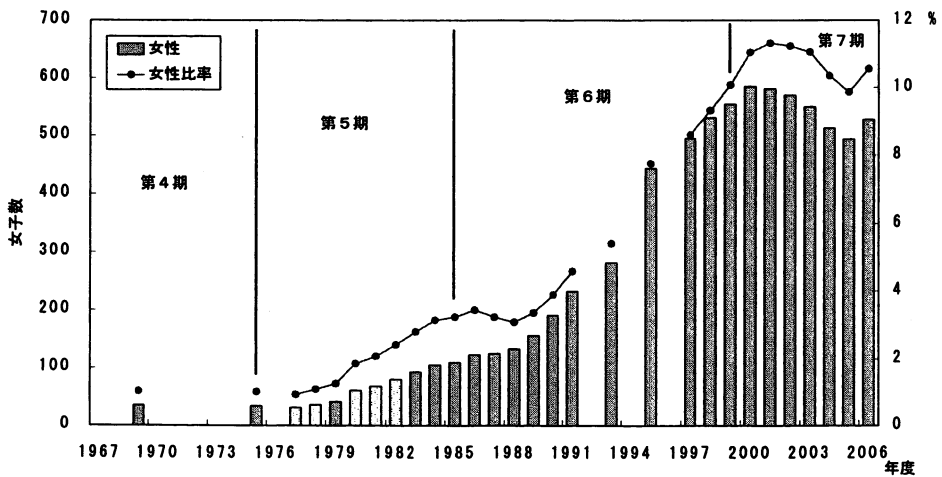
図3 日本の女子学生数と比率の推移



出典:文部科学省『データから見る日本の教育2005 資料編』

注:学部・大学院・専攻科・別科・その他の合計数

図4 東京工業大学の学部在学女子数と比率の推移



出典:表3参照

注:網掛け部は不正確で大学提示の数字ではない 留年者は重複している

図5

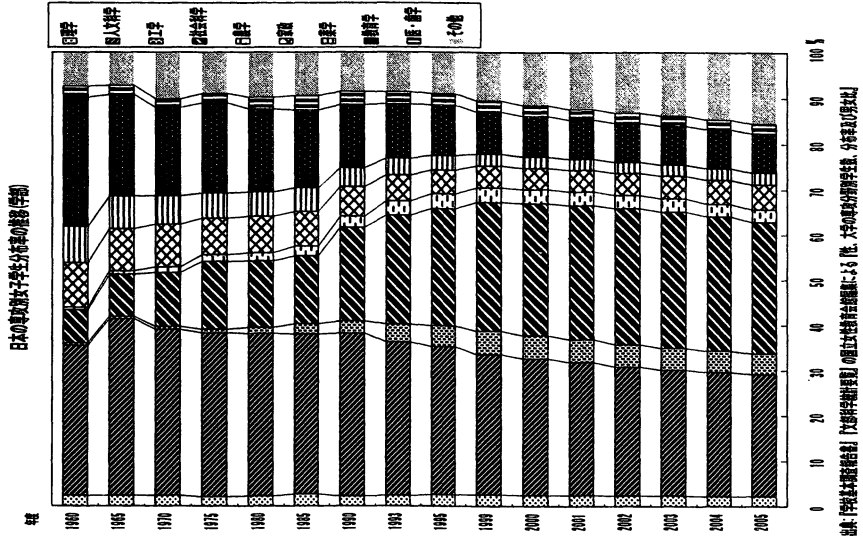
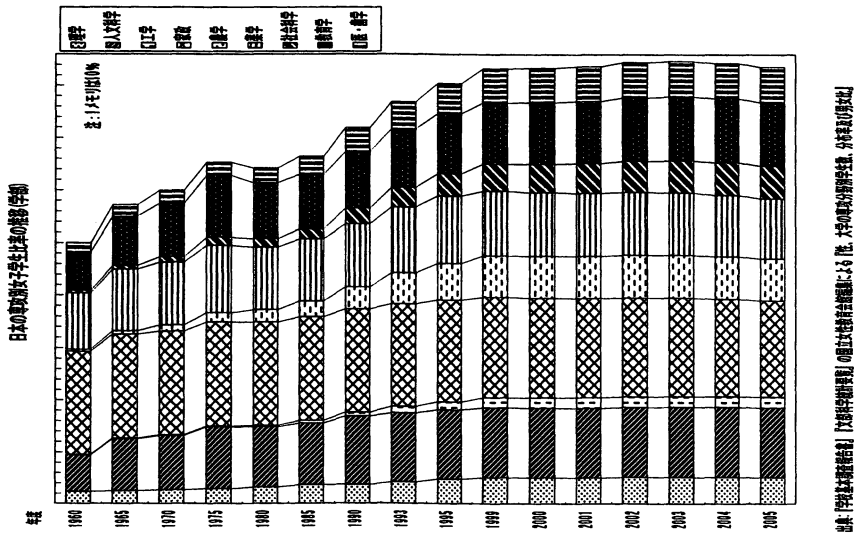


図6



卒業年度	1902 (明 35)	1907 (明 40)	1912 (明 45)	1916 (大 5)	1921 (大 10)	1926 (大 15)	1930 (昭 5)	1935 (昭 10)	1940 (昭 15)	1945 (昭 20)	1950 (昭 25)	1955 (昭 30)	1960 (昭 35)
東京女高師(お茶女)	17	26	23	19(19)	18	21	28	23	32	56(27)	65	54	58
奈良女高師(奈良女)				13	16	21	21	23	22	37(29)	43	50	52
東京大学											3	6	4
東京教育大学											7	20	17
計	17	26	23	51	34	42	49	46	54	149	118	130	131

出典：両女高師は会員名簿、東大、教育大は1961(昭和36)年度『お茶の水女子大紀要』を参考。○は臨時教員養成所

参照：文献1『近代日本女性史』=4 科学P34 表 4

注：東大、東教大の1950年度の欄の値は1953年度、東大1960年度の欄の値は1958年度、東教大1960年度の欄の値は1963年度のものである

表 1: 国立理工系女子学生数の推移

表2: 東京工業大学の学部一年在学女子数と比率

年度	計	女性	比率	出典	年度	計	女性	比率	出典
1943	392	1	0.3	蔵前学員誌 名簿	1978	886	26	2.9	"
1944		0		"	1979	898	31	3.5	Tokyo Tech Now 1999
1945		1		"	1980	907	35	3.9	"
1946		2		"	1981	938	28	3.0	"
1947		0		"	1982	1,025	35	3.4	"
1948	335	1	0.3	"	1983	1,234	30	2.4	"
1949		1		"	1984	1,365	42	3.1	"
1950		1		"	1985	1,322	53	4.0	"
1951		0		"	1986	1,326	69	5.2	Tokyo Tech Now 1999
1952		3		"	1987	1,442	74	5.1	"
1953	367	0	0.0	"	1987	1,507	91	6.0	"
1954		7		"	1989	1,528	133	8.7	"
1955		1		"	1990	1,459	106	7.3	"
1956	509	0	0.0	大学要覧	1991	1,501	124	8.3	"
1957		1		蔵前学員誌 名簿	1992	1,455	129	8.9	"
1958	590	1	0.2	"	1993	1,441	141	9.8	"
1959		0		"	1994	1,372	139	10.1	"
1960	676	0	0.0	大学要覧	1995	1,320	148	11.2	"
1961	714	2	0.3	"	1996	1,260	152	12.1	大学要覧
1962	759	2	0.3	"	1997	1,254	141	11.2	"
1963	831	3	0.4	"	1998	1,273	119	9.3	"
1964	868	5	0.6	"	1999	1,286	119	9.3	"
1965	859	4	0.5	"	2000	1,213	112	9.2	東工大 PROFILE
1966	889	8	0.9	"	2001	1,233	120	9.7	"
1967	788	5	0.6	"	2002	1,237	151	12.2	"
1968	782	5	0.6	大学要覧(斜 線は蔵前学 員誌名簿)					
1969	766	5	1.0	"					
1970	789	9	1.1	大学要覧(斜 線は第5章卒 生の名簿)					
1971	786	3	0.4	"					
1972	779	5	0.6	"					
1973	773	13	1.7	"					
1974	808	14	1.7	"					
1975	790	14	1.8	"					
1976	884	20	2.3	大学要覧(斜 線は傾向予 測)					
1977	876	20	2.3	"					

注: 斜線は筆者が集計したもので大学集計の
値でない

表 3：東京工業大学の学部在学女性数と比率

年度	計	女性	比率	出典	年度	計	女性	比率	出典
1963	3,094			大学要覧	1987	5,073	232	4.6	〃
1964					1987				
1965	3,436	35	1.0	学校基本調査/ 学部学生内訳票	1989	5,196	281	5.4	学校基本調査/ 学部学生内訳票
1966					1990				
1967					1991	5,725	443	7.7	大学要覧
1968	3,593			学校基本調査/ 学部学生内訳票	1992				
1969	3,466			大学要覧	1993	5,757	495	8.6	大学要覧
1970	3,436			〃	1994	5,701	531	9.3	〃
1971	3,376	34	1.0	学校基本調査/ 学部学生内訳票	1995	5,499	554	10.1	〃
1972	3,372			大学要覧	1996	5,297	585	11.0	〃
1973	3,345	31	0.9	大学要覧(斜線 は第5章卒生の 名簿)	1997	5,132	581	11.3	〃
1974	3,338	36	1.1	〃	1998	5,071	570	11.2	〃
1975	3,287	41	1.2	学校基本調査/ 学部学生内訳票	1999	4,975	550	11.1	〃
1976	3,296	61	1.9	大学要覧(斜線 は傾向予測)	2000	4,955	513	10.4	〃
1977	3,285	68	2.1	〃	2001	5,007	494	9.9	〃
1978	3,316	80	2.4	〃	2002	5,001	528	10.6	〃
1979	3,325	93	2.8	学校基本調査/ 学部学生内訳票					
1980	3,347	105	3.1	大学要覧					
1981	3,401	110	3.2	〃					
1982	3,578	123	3.4	学校基本調査/ 学部学生内訳票					
1983	3,874	125	3.2	大学要覧					
1984	4,326	133	3.1	〃					
1985	4,652	156	3.4	〃					
1986	4,927	191	3.9	〃					

注：斜線は筆者が集計したもので
大学集計の値でない

表4:一橋大学学部在学者

年度	計	女性	女性比率
2002	4,554	1,221	26.8

出典:一橋大学ホームページ

表5:東京大学学部在学者

年度	計	女性	女性比率
1999	18,334	2,868	15.6
2000	17,950	2,876	16.0
2001	17,892	2,909	16.3
2002	17,465	2,864	16.4

出典:東京大学ホームページ

2006 年度 博士・修士論文梗概

2006 年度提出博士論文

冷戦期のアメリカの対日外交政策と日本への技術導入
—読売新聞グループと日本のテレビジョン放送及び原子力導入:
1945 年-1956 年—
奥田謙造

国家プロジェクトによる輸送技術開発の歴史的分析
加治木紳哉

19 世紀における高圧蒸気原動機の発展に関する研究
小林学

2006 年度提出修士論文

本溪鋼鐵公司の生産構造の形成に関する歴史的研究
—日本から中国へ継承された一企業の事例—
木場篤彦

冷戦期のアメリカの対日外交政策と日本への技術導入

—読売新聞グループと日本のテレビジョン放送及び原子力導入:

1945 年—1956 年

山崎研究室 奥田謙造

序章 課題の設定

1. はじめに—歴史的概観と本研究の課題—

第二次世界大戦の敗戦は、日本の科学技術の歴史に大きな影響を及ぼした。戦後、アメリカは、日本に対して、占領政策、サンフランシスコ講和条約の交渉、さらに独立後に日米の軍事的な同盟体制の整備などを推し進めた。この時期は、東西冷戦の初期に当たり、ソ連・共産勢力に対して、アメリカは新しい防衛体制の確立を模索していた時期でもあった。占領から独立の時期にアメリカ政府の影響を受けながら発展を遂げた科学技術分野がある。テレビジョン放送と原子力は、その代表的なもので、ともに民間の読売新聞グループが深く関わった。本論文は、テレビジョン放送と原子力の導入に関する読売新聞グループの活動を取り上げ、それらとアメリカの対日外交政策・軍事戦略の展開との関係について論じる。

第二次世界大戦後、連合国軍最高司令官総司令部 (General Headquarters/the Supreme Commander for Allied Powers, GHQ) のダグラス・マッカーサー (Gen. Douglas MacArthur) は、日本の非軍事化・民主化の政策を推し進めた。科学研究に関しては、軍事関連の原子力、レーダーとこれに関連したテレビ、さらに航空科学研究は、占領開始直後から強い禁止措置を受けた。

一方、アメリカは、戦時中から軍事戦略の一環として、陸軍省の中に心理戦 (psychological warfare) 部門を整備し、1942 年に「ボイス・オブ・アメリカ」 (Voice of America, VOA) を開設した。戦後、冷戦開始を受けて、ハリー・トルーマン大統領は、1947 年 7 月に「国家安全法」を制定し、国家安全保障会議 (National Security Council, NSC) 等を設置して態勢の強化を図った。また、テレビ技術の開発に伴って、カール・ムント (Karl E. Mundt) 上院議員は、1950 年 6 月に、上院議会において「ビジョン・オブ・アメリカ」演説を行い、テレビを利用した心理戦の必要性を説き、その中で、日本への導入を強く主張した。

テレビ研究は 1946 年 7 月に、原子力研究は 1952 年 4 月 28 日の講和条約発効と同時に、それぞれ解禁され、その後、両技術ともアメリカから技術援助を受ける形で導入と開発が進められた。テレビに関しては、アメリカでは、ムント演説後、民間、政府機関が連携を取ったのに対し、日本では、正力松太郎を社主とする読売新聞グループが、積極的な導入の姿勢を示して、民間テレビジョ

ン放送の実現に進んだ。また、原子力に関しては、アメリカは、日本の独立後の1953年12月8日のドワイト・アイゼンハワー (Dwight D. Eisenhower) 大統領の国連での「平和のための原子」演説を契機に、同盟国への核兵器の拡散と、原子力の平和的利用を国際的に推進する政策を展開しはじめた。1954年3月にビキニ事件が発生すると、アメリカは日本での対米感情の悪化を懸念し、NSCが中心となって日本への商業用原子炉導入の検討を進めた。これに対し日本では、正力が原子力導入に積極的な反応を示し、ついで1956年2月に原子力担当大臣となって国家政策として推進した。

正力の行動の背後には、それを実質的に支えた人物として、正力の懐刀であった柴田秀利の存在があった。柴田は、終戦直後からGHQ担当の記者として当局者と密接な関係を持った。柴田秀利の役割は、彼の著した『戦後マスコミ回遊記』の出版によって、注目されるようになった。

本論文では、とりわけ1945年から1956年ころにかけての、日本の占領から独立の時期のアメリカの対日外交政策及び軍事戦略を視野に入れて、日米双方でどのように行動が展開されたかについて分析を行う。

2. 先行研究と本研究で使用した資料

第二次世界大戦後、GHQは日本の非軍事化・民主化政策に従い、基本的には、科学技術活動を管理下に置き、その再編を図った。この活動における、各科学技術分野の歴史的経緯は、学術団体などの編集になる通史的文献などに記されている。

本研究に関する資料調査の過程で、日本へのテレビジョン放送及び原子力の導入について、アメリカ側の動向に関する新たに公開された資料を入手した。テレビジョン放送導入に関する資料は、カール・ムント図書館資料、米国立公文書館Ⅱ所蔵の国務省関係資料、ハーバート・フーバー大統領図書館で1990年に公開されたホールスーセンペーパーなどである。原子力に関する資料は、ドワイト・アイゼンハワー大統領図書館所蔵の国家安全保障会議や国防総省等の関係資料と、国立公文書館Ⅱ所蔵の国務省関係資料で、ともに1990年代半ばに公開された。これに対し、日本側の基本資料は、テレビジョン放送、原子力導入ともに読売新聞グループの事実上の責任者であった柴田秀利が残り、筆者が管理している資料（以下では、柴田文書）である。

アメリカ側の資料は、アメリカ側の取組み姿勢が、これまでの認識以上に計画的であったこと、また、GHQ、本国側の政府、さらに民間が相互に連携を取り実行したことを示している。これらの資料は、アメリカ側の活動を実証的な立場から分析し、考察することを可能とした。

第1章 アメリカの心理戦とテレビジョン放送

1. アメリカの軍事戦略としての心理戦

テレビジョン放送は、後述する原子力とともに、アメリカの軍事戦略の1つである心理戦と大きな関係を持っていた。アメリカにおける心理戦は、第二次世界大戦に入ると、その制度が急速に整えられた。心理戦の目的は、さまざまな手段を行使して、人々に戦略的に有効な心理的効果をもたらすことにあった。心理戦には、「白」（公的）・「黒」（機密）・「灰色」の3種類の機能があり、「白」い機能は、情報を明瞭な事実として公衆に理解させることを目指したプロパガンダで、VOAによる配信は、その代表的な例であった。これとは対照的に「黒」い機能は、敵の文書の捏造などの非合法な手段によって、公衆に不信・混乱・恐怖を与えることを目指したものであった。「灰色」の機能は、「白」、「黒」の中間的なものであった。

心理戦部門の制度化の嚆矢として、1942年2月にVOA放送が正式に開始され、6月には「白」い機能の戦時情報局（Office of War Information, OWI）が設置された。VOAは、戦争中に、OWIに所属する米国情報文化庁（United States Information Service, USIS）の下で拡大された。冷戦期に入ると、1948年1月に、共産勢力に対抗するための情報活動の公的機関として、「スミス-ムント法」が制定され、VOAに法的権威を与えられ、VOAは単なる宣伝機関から国際情報教育機関へと変貌した。

1943年に「黒」い機能を担う戦時戦略局（Office of Strategic Services, OSS）が設置された。1947年7月に、国務省内に、国務省と国防総省の連携を強化するために、国家安全保障会議（NSC）が設置された。

その後、1950年6月に朝鮮戦争が勃発すると、米国政府の公的及び機密機能を担う機関は、それぞれ高度に整備された。機密機能を担う機関としては、1953年にNSCの内部部門として、大統領を補佐して海外情報や心理戦略に関して政府の複数機関を調整する作戦調整委員会（Operations Coordinating Board, OCB）が設置された。

1953年8月には、米国情報局（United States Information Agency, USIA）が設立された。USIAの長官はOCBの幹部によって指名され、後にテレビジョン放送が開始されると、その技術的援助と助言を行った。さらに、NSCは、後に述べる原子力問題に関して、1953年3月に、文書NSC145により「実用的原子力発電の開発」に関する政策を示すことになった。

2. アメリカの通信技術・テレビ技術の発展

もともと、テレビの発明はイギリスのジョン・ベアードによるもので、1925年にロンドンでテレビジョン放送の公開実験に成功した。1937年には走査線405本、映像数毎秒50フィールドの方式が、イギリスの技術標準として決定さ

れ、アメリカでは、1931年にRCA(The Radio Corporation of America)が常時実験放送を開始した。1934年に通信に関し管理を行う機関として連邦通信委員会(Federal Communications Commission, FCC)が設立された、1941年に走査線525本、映像数毎秒60フィールドの方式が、アメリカのテレビの技術標準として決定された。

戦後、1948年11月に、RCAのデビッド・サーノフ会長(David Sarnoff)は、トルーマン大統領に、冷戦期の国家安全保障のためのグローバル通信ネットワークのアイデアを提唱した。このアイデアは、テレビ、電話などの国際電気通信設備と軍事的なミサイル攻撃システムを複合させたものであった。また、ここには、テレビジョン放送と軍事戦略の併用と共に核兵器との関係が示されている。

3. 心理戦の一環としてのカール・ムントの「ビジョン・オブ・アメリカ」

アメリカからの日本のテレビジョン放送導入に関して重要な人物として登場するのは、「情報政策の生みの親」と言われたカール・ムントである。ムントは、1938年に下院議員に当選し、その後1948年から73年まで上院議員を務めた。この間、1947年頃から、ベルリン・朝鮮など世界各地で、アメリカとソ連との対立が激化し、彼は共産主義の侵略に反対するための国際的な戦略の必要性を強調した。

ムントは、ソ連の宣伝を打ち消す最良の方法が、VOAに法的な権威を与えることにあると確信し、1948年に「スミス-ムント法」を制定したが、VOAはその後もソ連の電波的な妨害を受け続けた。この結果、ムントはVOAがプロパガンダ手段として技術的に不十分であると認識し、ラジオを超えた新しい形態のメディアであるテレビを使う構想を固め、スミス-ムント法の機能を拡大する試みとして、1950年6月5日、ムントは第81回上院議会における「ビジョン・オブ・アメリカ」演説で、テレビ戦略を提唱した。

ムントは冒頭で、アメリカの外交政策の必須の3項目として(1)軍事、(2)経済、(3)思想と情報を挙げた。(3)は世界戦略の最も重要な要素で、思想やプロパガンダによる心理戦争(psychological war)は起きるべくして起きたので、この法案は心理戦争のために武器を供給すると法案の目的を示している。

心理戦の武器としてムントが提案したのがテレビ技術である。彼は、世界中で無数の「方言」を使用している状況では、ラジオ(耳で聞く)では限界があり、これからは、VOAがソ連から受けている妨害行為を排除するためにも、これを超えたテレビ(目で見る)の時代に進んで、次のステップの法律化が必要であると説明している。そして、元教育者の経験から、「1つの絵は1万語の価値がある」と訴えた。

さらにコスト面でも実際のであり、日本の計画については、(1)コスト460万ドル(B-36爆撃機2機分に相当)の全国的なネットワークで、(2)東京に主放送局、地方に22の中継局を建設などと、具体的な数値を提示した。

また彼は、占領した日本・ドイツは、ともに世界で経済的地位の奪還を図るだろうが、民主主義への転換を達成するまでわれわれは日本やドイツを去ってはならないと、占領国に対して厳しく対処する姿勢を示した。そして、日本ではマッカーサー将軍が十分にコントロールしており、財源も十分と考えるので、この計画を急速に推進しても大丈夫であると述べ、日本に対してとりわけ積極的に取組む姿勢を示した。

最後にムントは、「私は、ボイス・オブ・アメリカに、『ビジョン・オブ・アメリカ』を加えることを提案する。そして私は建設的なこの『see bomb』の連鎖反応は、原子爆弾の連鎖反応の破壊的規模と匹敵することを予言したい」と締めくくり、テレビが冷戦の戦略に対して強大な力を持ったメディアであることを強調した。

「ビジョン・オブ・アメリカ」構想を支えた人物としては、ムントの議会演説の基礎になった具体的な資料の準備を整えたサーノフの他に、ヘンリー・ホールスーセン(Henry Holthusen)、ウィリアム・ホールステッド(William Halstead)がいた。ホールスーセンは弁護士で、戦後に上院外交委員会の顧問となり、日本等のテレビジョン放送導入のために活動した。ホールステッドは電子技術者で、政府の技術コンサルタントのユニテル社の社長であった。この2人はともに、後に日本テレビ放送網株式会社(NTV)のテレビジョン放送導入に関係して、コンサルタントとして招請を受けて来日することになった。

4. 戦後の日本のテレビジョン放送開始の試み

日本におけるテレビ研究は、第二次世界大戦前からNHKや高柳健次郎らによって行われていたが、前述のように、終戦直後、GHQはテレビ研究を直ちに禁止した。1946年7月には、この禁止令は早くも解消され、NHKは11月に再びテレビ研究を開始した。1950年11月には、本放送に入ることを目標にアメリカ方式を採用し、走査線525本、映像数毎秒50フィールドを採用して実験放送を開始した。

一方、GHQの放送の民主化政策によって、民間の中からもテレビジョン放送の実現の動きが生じ、1949年10月6日に、3極真空管の発明者であるアメリカの電気学者のド・フォーレ(Lee De Forest)は、日本人の友人であったトーキー研究家の皆川芳造に、日本でのテレビジョン放送局設立を勧めた。皆川は読売新聞社社長の正力に話を伝えると、正力は即座に引き受けた。これを受けて、ド・フォーレは、マッカーサーにテレビジョン放送局設立に関して正力の参加を求める嘆願書を提出した。これに対し、11月5日にGHQは、この提案を却下した。この後、1950年5月2日に電波3法が施行され、これに基づき、6月1日に電波監理委員会が設立されたが、この時、テレビジョン放送開始について言及されることはなかった。

5. ムント演説後の動き

ムントの演説後、アメリカ国内で、「ビジョン・オブ・アメリカ」の法案成立と日本へのテレビジョン放送導入に向けて様々な動きがあった。ムントは上院外交委員会の中で小委員会を開催し、ホールスーセンらと連携を取って準備を進めていった。

ムントは東京のマッカーサーに演説の趣旨を伝え、日本でのテレビジョン放送の実施について打診した。これに対し、マッカーサーは7月1日にムントに返書を送った。マッカーサーは、日本人自身の手で政治的、経済的復興を遂げさせるという占領軍の方針から、ムントの提案を直ちに具体化することはできないとアメリカの直接主導の導入には否定的な見解を示した。とはいえ、マッカーサーは、テレビジョン放送導入そのものについては積極的で、その点で、49年10月にド・フォーレが提出した嘆願書への対応とは対照的であった。当時、正力は公職追放の身にあり、また電波監理委員会のような政府機関が存在しなかったためであった。しかし、1949年10月には中華人民共和国が成立し、また50年6月の朝鮮戦争勃発で極東情勢は大きく変わった。アメリカは共産勢力に対抗して民主主義勢力を拡大するために、VOAに代わる強力なプロパガンダ体制作りが必要となった。

テレビネットワーク計画の技術的な面で、エンジニアのホールステッドは、演説直後に雑誌にマウンテントップ方式のアイデアを公表した。

第2章 日本のテレビジョン放送の導入

1. 柴田秀利の渡米と日米の動き

ムント演説の直後に、当時NHKの解説委員をしていた柴田秀利は、偶然にも外電の中から演説の要旨を発見した。テレビジョン放送の日本への導入については歓迎しながらも、柴田はGHQに対しアメリカによる直接導入には反対の態度を示した。テレビ導入をアメリカの直接主導で実行することに対する反対の姿勢は、前述のマッカーサーがムント宛の手紙の中で示した主張と、奇しくも一致していた。

この時柴田は、GHQから電波事情視察の招待を受けた。当時、GHQは、電波監理委員会の代表を渡米させ、公共の電波監理機関として何が必要かを研修させる計画を持っていた。GHQは、電波監理委員とともに、柴田を通訳及び取材記者として同行させた。事前に、柴田は正力と対面し、日本独自に資金計画のあることを示す必要があると説明すると、正力は、計画実現のためには自分の公職追放の解除を要請してほしいと回答した。

51年4月に渡米した柴田はムントと会談した。柴田はムントとの会談でも、日本でムント演説直後にGHQに対して主張した時と同様に、テレビ導入は我々日本人自身の手で、責任をもって実現させなくてはならないと主張した。柴田

はこの時ムントから、ホールスーセン、ホールステッドらを紹介された。柴田は、ホールスーセンに対して正力松太郎の公職追放の解除を要請し、彼らの日本への招請を提案した。

2. 米国テレビコンサルタントの来日

このころの日本のテレビジョン放送導入にあたってのアメリカの政策や、NTV、正力、柴田等に関する記録・書簡が、アメリカのフーバー大統領図書館に「ホールスーセンペーパー」として所蔵されている。

ホールスーセンペーパーによると、8月6日に、正力は正式に日本政府から公職追放からの解除を受けた。その後、8月10日に正力は、ホールスーセン、ホールステッド、さらに、国連の通信部長のウォルター・ダスチンスキー(Walter Duschinsky)の3人に、テレビジョン放送導入のコンサルタントとして正式の訪日の招請状を送った。正力から招請を受け、3人のアメリカのテレビジョン放送導入のコンサルタントが、8月22日から9月15日まで来日した。

この間、8月26日に、正力は、「日本テレビ放送網株式会社創立事務所」を設立し活動の態勢を整えた。28日には電波監理委員会との懇談会が開催された。この時アメリカ側は、アメリカ政府自身が日本にテレビジョン放送ネットワークを導入する用意をしていたところ、日本から自発的な提案がなされて来日に至った、と経緯を説明し、アメリカを挙げて積極的な「支援」を行うことを強調した。ホールスーセンは、9月4日に工業クラブで「テレビジョン放送事業計画」の概要を公表した。一方、正力らの動きに対して、NHKは、同日、直ちに放送文化研究所に番組研究委員会を設置し実験番組の研究を開始した。

技術的な内容に関しては、ホールステッドがすでに日本の計画の詳細を説明していた。それによれば、日本の計画は、東京に基地局を設立した後、マウンテントップ方式を採用して、山岳地帯の日本の地形を生かして山頂から山頂ヘリレーして22局ほどで全国ネットワークを完成するというものであった。「テレビジョン放送事業計画」はこれに基づく集大成であった。

10月11日には、NTVは電波監理委員会の指示に従い正式免許申請書を提出した。これに対しNHKは、10月27日に東京、大阪、名古屋のテレビ局の免許申請書を電波監理委員会に提出した。

来日中に3人がGHQとも連絡をとっていた事実がある。一通り日本側への説明を終えた9月11日に、ホールスーセンらは民間通信局(CCS)の通信担当部長のハモンド將軍へ手紙を送り、日本のテレビジョン放送のために、米軍が確保していた周波数帯の使用の許可を要求した。アメリカ側は、日本の独立後の軍事的立場の考慮から技術標準を重要視し、アメリカ方式を採用すべきという方針を、この時点で固めていたと考えられる。米国にとってVHF周波数帯の利用は、VOAやテレビのほか、軍事的分野でも必要であったことが理解される。なお、周波数帯の要求については、後に、実際には軍用として使用されていないので不都合なしという理由で、日本側で利用可能となった。

3. サンフランシスコ講和会議後の日本の動き

ホールスーセンらが訪日中の9月8日に、サンフランシスコでの講和条約が締結され、日本の独立が認められた。その直後の10月9日に、アメリカの国務省から日本のテレビジョン放送に関するプレスリリースが発行されている。そこにはまず冒頭で、柴田、ムント、ホールスーセンの会談の結果であったことが示されている。次いで、ホールスーセンが、訪日時に日本の技術標準について意見を述べたことに触れ、これについての国務省の賛意の解説を加えている。さらに、国務省は、テレビと講和条約後の日米同盟の関係を示した。アメリカ方式のテレビジョン放送導入は、講和条約後のアメリカの対日同盟戦略に位置付けていたのである。

ホールスーセンは、帰国後、技術標準について柴田らと意見の交換を続けた。日本の電波監理委員会は、走査線と映像数については、それぞれ525本、每秒60フィールドとアメリカ方式に直ちに同意したが、帯域幅については大きな論議になった。日本の企業とNHKは、アメリカ方式の6メガヘルツより広い国内技術の7メガヘルツの帯域幅を主張した。

この議論が進行していた時期に、NTVの実現に関連して、講和条約のアメリカ側の特使を務めたジョン・F・ダレスが引き合いに出された事実は注目されてよい。10月24日に正力はホールスーセンに手紙を送っている。正力は、民間の手による放送局の実現は講和条約後の日本にとって重大な意味を持つと説明し、ダレスの名を挙げてNHKを排除する政治的な解決を要請した。これを受け10月29日に、ホールスーセンはダレス宛に、日本の民間放送の支援を要請するための手紙を送った。この中で、日本のためのテレビを含む通信システムの導入は避けられないと明言し、彼からダレスに支援の助言をしてもらいたいと手紙を書いたことを記した。その後、ホールスーセンは、10月30日の正力宛の手紙の中で、ダレスに直接支援を要請したことを伝えた。

日本の電波監理委員会は11月に6メガヘルツの原案を作成した。ところが、その後の展開は複雑だった。翌年1月に入ると電波監理委員会は「白黒テレビジョン放送に関する標準方式」に関する聴聞会を開いた。そして、2月28日に一旦電波監理委員会は6メガヘルツ方式を採用したものの、NHK及び高柳はカラー放送技術への移行問題をあげて、7メガヘルツを主張した。その後、さらに、4月15日から聴聞会が開かれた。しかし、最終的には、激しい議論の末、6月10日に原案通り6メガヘルツと決定された。

国内では1952年の電波監理委員会での議論はよく知られているが、ホールスーセンペーパーで明らかのように、アメリカ側は前年のホールスーセンらの来日時からすでに技術標準をアメリカ方式とするための準備を整えていたのである。

4. テレビジョン放送開始とアメリカの評価

日本のテレビジョン放送の技術標準のうち、帯域幅について、電波監理委員会は、52年6月10日に最終的にアメリカ方式の6メガヘルツに決定した。

結果的には、NHKが53年2月に、NTVは、それから遅れて8月に放送を開始した。このことは、アメリカ方式のテレビ技術を、NHKも受け入れたことによって、NHKを含む日本のテレビ放送技術全体が、アメリカの外交政策上の技術戦略に乗ったことを示している。

放送開始1年後の1954年に、アメリカの国防総省は、日本でのテレビジョン放送開始について、日本のネットワーク計画は、重要なテレビ、通信、及び、レーダー情報を統合したもので、軍事的見地から、ネットワークは望ましく必要であり、日本の内部秩序を維持し、軍事戦力の増強に寄与し、さらに、外部攻撃から日本を守るために日米の同盟努力を援助するだろう、と評価を示した。

この評価の内容は、ホールズーセンら3人が51年8月に来日した時点から議論されてきたものであった。ムントの構想が共産主義に対抗するため、VOAに代わる国際的な教育放送事業を目的としたのに対し、国防総省としては、この構想の影響から生じた日米の民間の動きをある意味で利用して、日本にアメリカ方式のテレビジョン放送の技術標準を採用させ、それによって、極東及び日本におけるアメリカの軍事戦略の安定化を目指したのである。この事実は、日本側の関係者の思惑がどうあれ、アメリカ政府にとっては、日本へのテレビジョン放送導入は、軍事戦略の一環としての側面を明白に持っていたことを示している。

5. まとめ—日本のテレビジョン放送導入の目的は何か—

日本のテレビジョン放送の導入は、アメリカが第二次世界大戦後の米ソ冷戦の初期の、新しい防衛体制の確立を模索していた時期に進められた。アメリカはソ連・共産勢力に対抗するための軍事戦略として心理戦部門を制度化した。その後、テレビ技術の発達に伴い、カール・ムントは上院議会で「ビジョン・オブ・アメリカ」の演説を行い、日本などの占領国へのテレビジョン放送導入構想を提唱した。

結果的には、日本のテレビジョン放送の導入は、アメリカからの支援という形で、民間のNTVの計画として実施された。これに際し、日本の電波監理委員会は、NHK、国内企業の反対にもかかわらず、技術標準についてはアメリカ方式を採用した。この背景には、講和条約成立後も、アメリカ方式の技術標準の採用によって、極東での軍事体制の安定を確保したいというアメリカ側の思惑が存在した。

しかし、日本の立場からすると、反共産主義のプロパガンダを目論むムント構想そのものを実現したのではなかった。むしろ正力らにとっては、テレビ事業という目的を達成する手段として、ムント構想は、換骨奪胎し利用すべきも

のだったのかも知れない。日本へのテレビジョン放送の導入は、アメリカが冷戦期の共産主義に対抗する心理戦の手段としてテレビを注目していた時期に行われ、アメリカ側の対日外交政策の下で展開されたのである。

第3章 アメリカの原子力政策とビキニ事件

1. ビキニ事件と米国政府の反応

戦後、1952年4月28日のサンフランシスコ講和条約の発効によって、日本の核開発禁止は解除され、原子力の研究開発を目指すいくつかの動きが生じた。その第一は、もっとも早く議論を開始した日本学術会議であった。第二は、中曽根康弘らの改進黨グループで、1954年の3月に原子力予算の計上に成功した。第三は、初代原子力委員長となった正力松太郎らの読売新聞グループであった。1955年の第三次鳩山内閣で、正力が原子力問題担当の国務大臣に就任したことを契機に、第二の改進黨グループは、第三のグループに吸収された。本研究では、アメリカとの関係を最も強く持っていた第三のグループに注目し、とりわけ1954年3月のビキニ事件後から1956年ころまでのアメリカから日本への原子力導入をめぐる政策的過程を検討する。

日本へのテレビジョン放送の導入に関わった柴田秀利は、アメリカとの交流を継続する形で、日本の原子力導入にも関わることになった。柴田は、ビキニ事件以降、急速に高まった国内の原水爆禁止運動と反米的動向に対抗するために、原子力の平和利用構想を読売グループの原子力政策の中心に据えた。柴田の「毒をもって毒を制する」という言葉は、これを表現したものとされている。

この時期にアメリカは、1953年12月8日のアイゼンハワー大統領の国連での「平和のための原子」演説を契機に、直後に発生したビキニ事件への対応として、アメリカの国防総省や国務省内部でも、日本への原子炉導入論が台頭している。

アメリカは、1954年3月1日未明に、南太平洋マーシャル諸島のビキニ環礁で、水爆「ブラボー」実験を行った。この実験によって、前年の10月に通告されていた「危険区域」外で操業していたマグロ延縄漁船第五福竜丸の乗組員23名が被曝し、深刻な放射能傷害を受けた。3月16日、アメリカの国務省は原子力委員会(Atomic Energy Commission, AEC)とともに、船員の調査など、一連の対応策を取りはじめた。

これらの動きと並行して、国防総省内では、この事件による「反応」を懸念する声が生じていた。アースキン(G. B. Erskine)国防長官補佐官は、3月23日にメモを国家安全保障会議・作戦調整委員会(NSC/OCB)に送り、この事件が共産主義者のプロパガンダに利用されることに対する憂慮から、日本での原子力の「非軍事的利用」を提言した。書かれた時期から見て、日本への原子炉導入に関するアメリカ政府内の最初の言及だったと考えられる。米国の国内では、ビキニ事件発覚後、わずか1週間ほどの間に、日本の批判的な世論の成長を恐

れて、このような原子炉の日本導入論が浮上していたのであった。

3月30日に、NSC/OCBは、核実験の被害に対する基本的な政策を確定した。OCBは、ビキニ事件による共産主義者の宣伝に注意をはらうと共に、日本の漁船の傷害と損害賠償に関して政府声明の検討を要求した。

4月22日には、国防総省内で、ビキニ事件後の日本国民の反応に対する包括的な対策案が示された。これは、後に読売新聞グループが関わった一連の事業のアメリカ側のルーツとして、重要な意味を持つと考えられる。これを受けて、4月27日に、国務省、国防総省、AEC、USIAの役割分担を決定した。

2. 民間企業の原子力推進とジョン・ホプキンスの「原子力マーシャル・プラン」

政府内部の動きとは別に、アメリカでは民間企業の間でも、この時期に原子力の平和利用を推進する動きが生じていた。全国工業会議委員会(National Industrial Conference Board)は、1950年の初めから原子力の平和利用に関心を寄せ、企業家とAEC関係者による年会を開いた。後に読売新聞グループと関係を深めることになる、ジェネラル・ダイナミクス社のジョン・ホプキンス(John J. Hopkins)社長兼会長は、この会議の中で、十分な資金と積極的な努力があれば、10年から15年のうちに原子力に関する可能性が明確になると論じた。

両院原子力委員会委員を務めたコール(W. Sterling Cole)は、ソ連はすでに原子力の平和利用を進めており、米国における原子力の工業的平和利用の緊急性を強くアピールした。ここに見られるのは、ソ連との対決という政治構造の中で、平和利用を政治的観点から進めようとする、冷戦期特有のイデオロギーである。原子力の平和利用計画には、その底流に政治的な緊張度が高い、米国の戦略的な狙いが伴っていたのである。

ホプキンスは、翌年、1954年12月1日に、全米製造業者協会のアメリカ工業第59回年会での講演で、「原子力(Atomic)マーシャル・プラン」構想を打ち上げた。ホプキンスは、ソ連の原子力政策に対抗するためには、政府の経済援助を発展途上国、とりわけアジアの国々に、アメリカは原子力発電を導入する必要があると述べた。ホプキンスは、この計画をヨーロッパの戦後復興を支援した「マーシャル・プラン」になぞらえ、「原子力マーシャル・プラン」と命名し、「今日の世界において電力不足、食料不足、水不足、短命といった地域に原子炉を建設するため資金、資材、設備取付に関し百年計画を新たに開始する」ことを提唱した。

第4章 日本の原子力導入

1. 戦後の日本国内の動き

戦後の日本国内の原子力研究及び政界、産業界の原子力導入に関しては、原子力研究解禁の前からいくらかの動きがあった。

日本学術会議は、1948年の発足時から動きがあった。仁科芳雄副会長は、1950年4月の第6回総会では「戦争を目的とする科学の研究にはこの後絶対に従わないというわれわれの堅い決意を表明する」という声明に賛成した。その後、日本学術会議委員の伏見康治は1951年4月の第10回学術会議総会で、講和条約で原子力研究の禁止条項が含まれないように要望することを提案した。

1952年4月28日の講和条約発効とともに、原子力研究再開の動きは一挙に表面化した。日本学術会議副会長の茅誠司と伏見委員は、共同で10月の日本学術会議総会に、原子力問題検討についての議案を提出した。

この時の議案の要旨は、原子力問題は非常に重要な問題であり、これが将来動力源となって、日本の産業の形態も変わることが想像されるので政府の責任において検討をする機関を設けるべきであることを政府に申し入れるのが適当というものであった。しかし、被爆者として三村剛昂らが強硬な反対意見を唱えた。彼は、米ソの緊張が解けるまで日本は原子力問題に取り組むべきでないと主張したのである。最終的に、亀山直人議長は吾妻栄副会長が提案した、委員会設置の可否を問い、これが承認された。また、1952年ころから、日本学術会議内には、自由党の中から科学技術について、より強力な統合的な機関を設置すべきという意見が現れ、組織として、長官（国務大臣）を置くことが示された。

一方、政界にも講和条約解禁前から動きはあった。1951年1月25日に、前述のジョン・F・ダレスが来日した。この時、国会議員の中曽根康弘はダレス宛に原子力及び航空の研究の自由を求める書簡を送った。その後、中曽根は、1953年12月3日のアイゼンハワー大統領の「平和の原子」国連演説を契機とした、アメリカの原子力政策転換を受けて、前述のように、1954年3月3日に衆議院予算委員会に突如、原子力予算案を提出し、これが可決された。

これに対し、1954年4月23日に開催された日本学術会議の第17回総会では、「原子力の研究と利用に関し公開、民主、自主の原則を要求する声明」を表明した。また、同時期の1954年3月1日にビキニ事件が発生し、日本学術会議は、1954年4月に3日に「原水兵器の廃棄と原子力の有効な国際管理の確立を望む声明」を発表した。

この間政府により、1954年5月に、原子力利用準備調査会が、6月に原子力予算打合会が設置された。産業界でも、1955年4月に、経済団体連合会により原子力平和利用懇談会が設置され、原子力産業会議の母体となった。

2. 柴田秀利と原子力

柴田秀利が原子力問題に出会ったのは、1953年3月のことだった。当時、NTVの重役として、柴田はアメリカからのテレビ技術導入に関わっていた。NTVの全国ネット化に必要とされたマイクロウェーブ回線の導入のため、彼が渡米していたときに、テレビ事業のコンサルタント役であったユニテル社社長ウィリアム・ホールステッドから、ジェネラル・ダイナミックス社の副社長、ヴァーノン・ウェルシュ(Vernon M. Welsh)を紹介された。このとき柴田はウェルシュから、「テレビの技術をマスターした暁には、原子力技術の6,70%をマスターしたことになり、原子力の平和利用に入る素地は出来上がる」と聞かされた。『戦後マスコミ回遊記』には、「寝転びながら、その話を聞いた」とあるので、このときのウェルシュの話は、何ら公的なものではなかったと思われる。

柴田の『戦後マスコミ回遊記』で、その後、原子力問題が語られるのは、ビキニ事件以降、日本国内で原水爆禁止運動が発展を見たところのワトソン(Daniel S. Watson)との出会いに至る過程である。柴田は、ビキニ事件以降の原水爆禁止運動の急速な高揚を前にして、「日本には毒をもって毒を制するという諺がある。…原爆反対を潰すには、原子力の平和利用を大々的に謳いあげる他ない」と、ワトソンに語ったと書いている。これが「毒をもって毒を制する」発言である。

ワトソンの日本での任務は、彼が国防総省関係者と言われる以上には、詳らかではない。後述のように、柴田文書の中に、ワトソンが、当時、国連軍の司令官だったジョン・ハル(John E. Hull)の事務所で働いていた事実に触れている手紙があるので、ハルの部下として特別の任務についていた人物と考えられる。

ここで問題となるのは、ワトソンとの「毒をもって毒を制する」発言の時期である。『戦後マスコミ回遊記』では、柴田が危機感を感じたこととして、原水爆禁止署名運動全国協議会による署名運動で、「3千万人の賛同」が得られたことがあげられ、その後にワトソンとの会話が展開されている。このことから、ワトソンとの会話は、3千万署名以降のような印象を受ける。同協議会は、1954年8月6日の広島被爆記念日に発足し、1ヶ月後の9月4日の時点の署名数は1千万で、その後、1955年8月の第一回原水爆禁止世界大会直前に署名数は3千万に達した。この事実からすると、ワトソンとの会話は1955年8月以降、という見方も成り立ちうるが、そうすると『読売新聞』が後述する原子力キャンペーンを開始した1月より後になるので、もちろん、そういうことにはならない。放射能問題が、一般の国民に及ぶのは、俊鷗丸の調査結果がもたらされる5月ごろ以降であった。同調査船からは、ビキニ周辺の南太平洋領域における広範囲な放射能汚染が報告され、その後、梅雨を迎えた日本では、放射能の雨が降り始めるのである。この点からも、1955年3月というのは、状況的に早すぎる。妥当なのは、少なくとも俊鷗丸の報告以降というところだろう。

3. 「原子力平和使節団」の来日に向けて

柴田文書の中で、1955年の「原子力平和使節団」と関係した文書が見られるのは、1954年12月以降である。柴田はホールステッドから12月10日に手紙を受取っている。柴田は、ホールステッドから、「ムントの演説と同様な、長期的な効果をもたらすかも知れない、ある非常に重要なニュース」を知らされた。ムントとは、前述のアメリカの上院議員、カール・ムントのことである。この手紙でホールステッドは、かつて柴田が会ったウェルシュからの話として、ジェネラル・ダイナミクス社の社長兼会長、ジョン・ホプキンスが近く来日し、各界の関係者と原子力の日本での展開について協議したいと言っていることを伝えてきた。彼は「これは歴史的な出来事になりうる」と強調し、直ちに政財界首脳との会談を準備するよう柴田に提案した。

柴田は22日付で返事を書き、「たしかに貴殿のボールを素手で受取った。私はこの瞬間を待ち望んでいた」と対応した。読売新聞社主の正力が提案を受け入れたこと、自分たちが「テレビは原子力工業化の第一歩である」と理解していたことを伝え、それが「共産主義をこの地上から追い出す唯一の道だ」と述べた。さらに読売側からの提案として、ホプキンスに優れた学者を同行させるよう要望した。

その後12月31日に、柴田はホールステッドへ手紙を送っている。柴田は、ホプキンスを「原子力平和使節団」として迎えたいと伝え、さらに来日を、近日中に行われることになっていた日本の総選挙前に実現できないかと打診している。注目したいのは、この時の柴田の、「日本は唯一の被爆国で、国民の恐れは大きく、当然、アメリカに対する敵対的感情も否定できない、一方で共産主義者は反米及び平和運動のために捉えており、ビキニ実験による漁民の死亡以後、彼らの運動は強力になり、止められそうもない」という発言である。

手紙は、さらに次のように続く。「私は自分のアイデアを、国連軍のハル將軍のところにいる、ある政治分析官(an political annalist: ママ)に説明しておいた。彼は感動した様子で、指令官(ハル)にワシントンへ直ちに打電させ、彼らの方面から後押しさせると約束してくれた」と。ハルは、前述のジョン・ハルで、1953年から55年まで、国連軍の司令官を務めた人物である。別の1955年1月19日付のホールステッド宛の柴田の手紙には、「(ハル)將軍付きのひとりの政治情報官、Daniel S. Watson」という記述があるので、柴田が話をした「政治分析官」というのは、ワトソンだったと考えられる。

以上のことから、次のような想定が浮かび上がる。ホールステッドからホプキンスの来日を知らされた柴田は、ハルの事務所にいたワトソンに、原水爆禁止運動に対する危機感を表明し、ホプキンスの来日をそれらの運動に対抗する好機と捉え、ハルを通じたアメリカ政府への仲介をワトソンに依頼した、ということである。もし、この推定が正しければ、柴田の「毒をもって毒を制する」発言は、1954年12月に発せられたことになる。ワトソンが、そのとき「感動した」のだから、それ以前に同じ趣旨の話をしていた可能性は否定できるだろ

う。

ともあれ、1955年元旦の読売新聞の一面には、「米の原子力平和使節」という社告が6段抜きで掲載された。読売新聞は、その後、大々的な原子力平和利用キャンペーンを行うことになった。

正力は、1月5日に正式の招請状をホプキンスへ送り、1月20日ごろ、遅くとも2月初めの来日を要請した。正力の狙いは、総選挙中の来日で、原水爆禁止運動の反米的な動きを封じることであった。正力は続けて、日本国民に対するアイゼンハワー大統領のメッセージを携えることを要請し、重ねて指導的な学者の同行を依頼した。

4. アメリカ政府とホプキンスの対応

華々しく開始された柴田の計画に、その後、思わぬ障害が生じた。ホプキンスの訪日について、米国政府からチェックが入ったのである。

1月12日にウェルシュは、國務省を訪ね、ホプキンスの日本訪問について、國務長官付き特別補佐官ジェラード・スミス (Gerard C. Smith) らと意見を交わした。スミスは、ホプキンスの「原子力マーシャル・プラン」に対して、自分たちはそのようなものは計画していないとジェネラル・ダイナミックス社の単独行動を批判した。

スミスは、当時、NSC/OCBで、原子力平和利用関係作業グループ主査を務めていた。1月27日に彼のところに、OCB補佐官で、CIA長官付き特別補佐官のウェイン・ジャクソン (Wayne G. Jackson) からメモ「日本における平和のための原子プログラムの総合宣伝」が届いた。このメモには、「よく知られた影響力ある日本の新聞とラジオの重役 (executive)」が、アイゼンハワーの原子力平和利用計画を推進する全面的なキャンペーンを行いたいと言ってきていると述べられている。

さらに、2月4日にファネストック (Sheridan Fahnestock) からOCBのメンバーであったハーシ (Richard Hirsch) へメモが送られた。このメモでは、1月27日のジャクソンのメモと同じ人物が平和のための原子の移動キャンペーンを実施する意向であることが報告された。最後に、OCBがこの提案を検討し、承認を与えるかどうか、判断するよう求めた。

書き出しが、二つのメモで同じなので、情報の出所は同一と思われる。内容的には、ほとんど正力の招請状と一致しているものの、「重役」という表現や、後のメモに見られる、アメリカの意図をカモフラージュしながら代弁しようという主張の傾向から、問題の人物が、柴田であることは、まず間違いない。じつは柴田文書の中には、ハルを通じた要請が、ワシントンに伝わったことを柴田が理解していたことを示す文書が残されている。柴田がワトソンにした話は、たしかにワシントンのトップレベルの関係者に伝えられていたのである。

5. 「原子力平和使節団」と米国政府の反応

3月9日に、ウェルシュは柴田に宛て、訪日の具体的内容に関する手紙を送った。ウェルシュは、カリフォルニア大学のノーベル賞物理学者のローレンス(Ernest O. Lawrence)と、AECの原子炉担当部長のハフスタッド(Lawrence R. Hafstad)が同行する旨を伝えてきた。こうして「原子力平和使節団」来日計画の大枠が整えられた。『読売新聞』は、3月16日付で、ホプキンスらの5月9日来日を伝えた。

4月15日、ウェルシュは国務省のスミスに電話で準備の概要を伝えた。4月21日、スミスはジャクソンに、1月27日の彼のメモに対する返事を送った。これはホプキンスらの日本訪問に対し違和感を表明するものであった。スミスは、ホプキンスの「原子力マーシャル・プラン」が、すでに決定された国の政策と多くの点で異なるとし、彼の訪問に対する公的な支持表明は、「原子力の緊急性に関する誤った期待」をもたらす危険性があると述べた。このようなアメリカ政府のホプキンスらの来日に対する消極的な反応は、当時、彼らが進めていた国際的な原子力の平和利用計画の政策的枠組から来ていた。

1955年1月にNSCは、文書NSC 5507「外国における原子力」を取りまとめ、計画の具体的検討を進めた。この文書で、非先進国における原子力の位置づけに関して、ホプキンスの「原子力マーシャル・プラン」構想とは対立する見解が示された。こうした政策的立場からすれば、ホプキンスの構想が、国の基本政策から外れていると理解されるのも当然である。

ともあれ5月9日に、ホプキンス一行は東京に到着し、精力的に代表者と懇談を重ね、13日に東京日比谷講堂で開催された講演会には、会場の収容数をはるかに上回る3千人以上の聴衆が詰め掛けた。『読売新聞』は大きな紙面を割いて、ホプキンス、ローレンス、ハフスタッドの講演内容を図入りで報道し、新しい原子力時代の到来を強く印象付けた。その後、1955年11月には「原子力平和利用博覧会」が開催され、日比谷公園を皮切りに全国を巡回し、多くの観客をつかんだ。正力はこの成功をばねに、「原子力基本法」の制定、原子力委員会の設置、さらには科学技術庁の創設へと進んでいくことになった。

6. キャンペーンの効果

「原子力平和使節団」の来日から半年後、1955年12月末に正力松太郎は『朝日新聞』の取材に応じ、1年に及んだ原子力平和利用キャンペーンを振り返って、次のように述べた。「…今年の初めごろは日本が原子力に手をつけることに反対する者がずいぶん多かったものだが、このごろは反対論がほとんどなくなったのでよかったと思っている。」と。

この正力の発言は、USISを歓喜させた。1956年2月21日付のUSISからUSIAへの報告電報「平和のための原子の日本における諸結果」は、正力の言葉を引用しながら、それは「この年のUSISの成功を凝縮した形で語っている」とし

て、日本における USIA の活動を総括している。ビキニ事件による日本人の反米、反原子感情の高まりに、当初、彼らはそれに対抗する自分たちの仕事を「望みない」と見たという。しかし、年末には原子力委員会の設置など一連の法案が国会を通過し、原子炉の購入計画なども具体化されつつあった。そして、自分たちは「打ち勝てないと思われた困難」の中から、「USIA 史上もっとも驚くべき大成功の一つ」を得たと結論付けた。

しかし、アメリカと読売新聞グループのキャンペーンが、原子力の平和利用の理解を日本国民の中にたしかに広げたものの、3度に及ぶ核兵器の被害を経験した日本人の持つ、核兵器に対する警戒心を払拭したわけではなかった。

7. まとめ—連携プレーを主導したのは誰か—

原子力に関する正力松太郎の行動の背後には、柴田秀利の精力的な活動があった。特にアメリカ側との関係では、読売新聞グループにおける柴田の役割は決定的だった。ホプキンスの来日を好機と捉えた柴田の一連の機敏な行動は、その評価は別にしても、日本の戦後の原子力行政に大きな影響を与えたことはたしかである。しかし、その柴田も、アメリカ側にビキニ事件以降の日本に対する特別の平和利用政策が存在しなければ、広範な活動を展開することはできなかっただろう。この意味で、柴田と読売新聞グループの活動は、アメリカ側の意図に支えられ、その政策の枠内で行われたとすることができる。

すでに見たように、アメリカ側では、国のレベルとホプキンスらの民間レベルでは、政策的な目論見は微妙に食い違っていた。国から見ると、実用炉の展開を視野に入れたホプキンスらの日本訪問は、予想外の出来事であった。

第5章 総まとめ

第二次世界大戦後、戦勝国であるアメリカは、敗戦国である日本に対し、GHQ を通じた強力な占領政策を施し、非軍事化、民主化を図った。アメリカは、この過程で、科学技術に関しては、基本的には、日本の再編は日本人自身で実現すべきという立場をとったが、軍事研究と関係のあったテレビ、原子力研究は日本が再び軍事化を図るのではないかという疑念から禁止の措置をとった。

日本では、テレビ研究は1946年7月に解禁され、原子力研究は1952年4月のサンフランシスコ講和条約の発効時に解禁された。この後、アメリカは、日本へのテレビジョン放送、原子力導入を、GHQ が主張した日本人の自主性に任せるという方針よりは、むしろアメリカ本国の方針により推し進め、民間の読売新聞グループを支援するという形でそれらの技術のアメリカからの導入を実現した。これらの導入に関して、今回、アメリカ側の資料が公開され、アメリカ政府等の動きの詳細が明らかになった。本研究ではこれらの資料に基づいて、実証的な分析を行った。

テレビジョン放送導入は、東西冷戦開始の時期に実施された。これは、この

時期に行われた、テレビを国際的情報教育のための心理戦の手段として利用しようとするムント演説が契機ではあった。しかし、朝鮮戦争の勃発により極東情勢が悪化し、アメリカが、軍事力の増強を図るために、日本との同盟関係を重要視しなければならないという状況へと展開した。このため、講和条約成立後も本国政府、とりわけ国防総省、国務省、議会及びGHQには、それぞれにアメリカ方式の技術標準の採用によって極東での軍事体制の安定を確保させたいという思惑が存在した。このため、各機関は相互に連携を取り、計画的で周到な準備に基づいて、日本への導入を実現させたのである。

日本側の立場からすると、正力らにとって、テレビ事業という目的を達成する手段として、ムント構想は換骨奪胎し利用すべきものであった。しかし、日本へのテレビジョン放送の導入が、アメリカが冷戦期の共産主義に対抗する心理戦の手段としてテレビを利用し、アメリカ側の対日外交政策の下で展開されたということは、日本の戦後の科学技術史の中で否定し得ない事実なのである。

原子力の導入に関しては、1953年12月のアイゼンハワーの「平和のための原子」演説後に、日本では、日本学術会議が原子力研究の方向に関して模索をする中で、国会において中曽根ら政治家の原子力予算案が可決され、このことは国内の行動を促進させた。しかし、この動きは、結果的には、この直後に発生したビキニ事件を契機として、読売新聞グループの動きに吸収された。この時、アメリカは、事件後の反米・原水爆禁止運動の拡大を懸念して、本国政府、とりわけ国家安全保障会議、国務省、国防総省が主体となって、日本に対して特別の平和利用政策を推進し、広範な活動を展開した。また、民間のホプキンスは、それとは独自に行動し、アメリカは政府ルート以外に多岐の手段を講じて、日本への導入の実現を図ろうとした。

原子力導入についての、柴田秀利をはじめとする読売新聞グループの一連の機敏な行動は、日本の戦後の原子力行政に大きな影響を与えたことは確かである。しかし、彼らの活動は、結局は、ビキニ事件以後の冷戦期において、アメリカ側の意図に支えられ、その対日外交政策の枠内で行われたのである。

戦後の日本の科学技術の発展に対する評価は、戦勝国、敗戦国では異なるだろう。敗戦国である日本側から見ると、占領後には、テレビ、原子力ともに、国内研究の禁止、その後の国内復興のための外国からの導入という特異な過程を辿った。アメリカ側の強力な非軍事化・民主化政策のために、自国の自由な意志に基づいた取り組みは中断させられ、その後の展開は、日本政府の政策によるよりも、かえって民間主導の形で推し進められることになった。

一方、戦勝国のアメリカは、自国の勢力拡大と軍事態勢の維持のために、敗戦国としての日本を管理・監視下に置くことにより、自国の科学技術の成果の拡大を狙った形になった。アメリカは、自国の心理戦略に従って、極東地域の政治的・軍事的安定化と日本国内の反米的な運動の鎮圧を達成するために、アメリカ政府が主導的に動いたのである。

本研究は、テレビジョン放送と原子力問題を取り上げ、冷戦初期の日本の科学技術の展開を、戦勝国アメリカと敗戦国日本の両方の立場から分析し、それ

ら双方の立場を総合的に理解することの必要性を明らかにした。

今日、日本の科学技術はいくつかの分野ではアメリカを凌ぐ状況にある。日本は、唯一の被爆国として、将来も世界の科学技術の発展にさらなる貢献が求められている。本研究において、冷戦期のアメリカの対日外交政策と日本へのテレビジョン放送及び原子力という技術導入の関係を明らかにしたことは、日本の科学技術の戦後の歴史の理解においてだけではなく、今後の日本の技術展開の方向性を検討するためにも意義あるものと考えられる。

The US Foreign Policy and the Introduction of Technology to Japan in the Early Period of the Cold War

–*Yomiuri Shimbun* and the Introduction of Television Broadcasting and Atomic Energy to Japan: 1945-1956 –

OKUDA, Kenzo

Abstract:

This thesis discusses the relationship between the development of the US foreign policy toward Japan and the activities of *Yomiuri Shimbun*, a private daily owned by Matsutaro Shoriki, through an empirical analysis based on newly found US documents relating to the introduction of television broadcasting and atomic energy to Japan from the occupation to independent periods and the files of Hidetoshi Shibata, Shoriki's right hand.

The US government utilized televisions as a mean of psychological warfare for the military purposes against the communism in the early period of the Cold War, and then regarded that Japan's adoption of the US TV standards was important as a part of the strategy for Japan-US alliance after the independence of Japan.

Regarding atomic energy, the US government started its international policy on the peaceful utilization of atomic energy with President Eisenhower's "Atoms for Peace" address at the general assembly of the United Nations in December, 1953. The Bikini incident soon after that made the US government fear the emergence of anti-US campaigns by the incident and start special counter-campaigns for the utilization of atomic energy for peaceful uses in Japan. The General Dynamics was also active in introducing atomic power to Japan independently of the government.

It is argued that although activities of *Yomiuri Shimbun*'s group were considerably remarkable, the introduction of television broadcasting and atomic energy was strongly influenced by the US foreign policy toward Japan and was realized within the framework of it.

The evaluation about the development of technology in postwar Japan maybe differs between the victorious nation, the US, and the defeated nation, Japan. In this study, it is pointed out the importance of understanding of the history of technology at that time from both sides.

国家プロジェクトによる輸送技術開発の歴史的分析

梶-中島研究室 加治木紳哉

第 1 章 課題の設定

経済の国際化が著しい現在において、産業の国際競争力を向上させ、持続的で安定した経済成長を支える推進力として、イノベーションに対する期待は、ますます高まっている。このような状況の中で、民間企業が実施する研究開発については、問題点を分析し、研究成果を事業へ結びつけるための近道を探る研究が、様々な角度から行われている。だが、研究開発は、民間企業だけではなく、政府関係の研究機関や政府主導の下で結成された技術研究組合等でも、国家プロジェクトとして行われてきた。これらの中には、超 LSI 技術研究組合のように、大きな成果を挙げた例もある一方で、本研究で取り上げる事例のように、技術開発には成功したものの、実用化に結びつかないという状況が発生したプロジェクトもある。国家プロジェクトは、民間企業では実施が困難な、大規模あるいは長期を要する分野に取り組むことが本旨である。これに加え、新技術の開発は、常に困難で不確定な要素を孕んでいる。従って、国家プロジェクトは本質的に失敗する可能性が高いという指摘も可能であろう。しかし、多額の国税を投入する以上、この状況を放置することは問題である。どうすれば、困難な国家プロジェクトを成功に導くことが出来るのか。その出発点として、個々のプロジェクトを精緻に分析することも重要であろう。

そこで、本研究で具体例として取り上げるのは、科学技術庁航空宇宙技術研究所の短距離離着陸 (STOL : Short Take Off and Landing) 実験機「飛鳥」、運輸省のテクノスーパーライナー技術研究組合による新形式超高速貨物船テクノスーパーライナーのプロジェクトである。これに加え、「飛鳥」とほぼ同時期に、航空宇宙技術研究所と通商産業省の航空機用ジェット・エンジン技術研究組合が研究開発を実施したファンジェット・エンジン「FJR710」のプロジェクトについても考察する。また、研究開発から建設までの資金を、国の機関からの公的な資金支援ではなく、独自の借入金で賄っていることから、国家プロジェクトと呼ぶことは出来ないが、これに順ずる国家的プロジェクトの成功例として、日本国有鉄道の東海道新幹線も取り上げ、前述のプロジェクトとの比較を行う。

第 2 章 STOL とジェット・エンジン

わが国の航空に関する活動の全てを禁じた GH.Q の「兵器、航空機の生産禁止令」が 1952 年に解除されるまでの間に、世界の航空技術は飛躍的な進歩を遂げた。時代は、それまでのピストン・エンジンからジェット・エンジンへの移行期にあった。戦前・戦間期において、航空機を独自に開発する能力を有していたわが国の航空機工業は、世界水準から大きく引き離されていた。この遅れを取り戻すため、総理府

(後に科学技術庁へ移管)に設置されたのが、航空技術研究所である。

1971年、航空機の生産を所管する通商産業省の航空機工業審議会、航空機の研究開発を行う科学技術庁の航空技術審議会の答申に、揃ってSTOLという文言が出現した。背景には、航空需要の増大、騒音の社会問題化、海外におけるSTOL機の研究開発の流行があった。そして、2つの省庁のSTOL機開発に対する意図は、2点で一致していた。近距離都市間というSTOL機の用途と、国際共同開発を有利に進めるための自主技術の確保という点である。興味深いことに、この時期、航空機の運航・検査を所管する運輸省もSTOL機を推進する立場にあった。そして、1971年からは、離島路線で運航するSTOL機の購入費用の一部に補助も開始された。1971年の時点では、通商産業省と科学技術庁の認識が一致し、運輸省の想定した利用目的とは異なっている。しかし、STOL機の導入という点で、各省庁は同一の方向性を持っていたことに着目しておきたい。

1975年12月18日、科学技術庁航空技術審議会は、「我が国に適したSTOL輸送システムの具体的推進方策について」の建議を行った。これは、STOL輸送機に加え、進歩した航法、管制・保安、空港等のサブシステムからなるSTOL輸送システム技術を確立し、1980年代中期の実用化を目指すものであった。

通商産業省は、科学技術庁とSTOL機に関する認識で一致する一方で、国際共同開発で航空機を作るという、別のプロジェクトも具体化した。1971年、通商産業省航空機工業審議会は、「超大型機につぐ大型を含む機体を外国メーカーとの国際共同で行う」ことを政府に答申し、その相手としてボーイング社を選定した。1977年には、同社が開発から販売までの全責任を持ち、日本は同社の指導の下に機体の一部を開発製造するという基本的合意によって、双発中型ジェット機「B767」の国際共同開発が決定した。また、航空機・機械工業審議会は、民間航空機開発・生産・販売体制のあり方、航空機工業の長期展望についても審議し、1979年と80年の2回に渡り中間報告を行った。この中では、民間航空機の開発について、「一定規模以上の本格的な民間航空機の開発は、その技術的困難性と、長期にわたる膨大な資金需要、そして国内市場が狭隘で需要を世界市場に求めなくてはならないという市場確保の問題がある。この技術リスクと販売リスクの分散・軽減を図るには、国際共同開発を主体としなければならない」と述べている。

また、航技研が「飛鳥」の研究開発に没頭している間に、運輸省の空港整備5ヵ年計画は次々に実施された。1976年から開始された「第3次空港整備5ヵ年計画」では、ジェット化の一方で発生した騒音問題に対処すべく、空港周辺環境対策事業が中心となった。そして、「第4次空港整備5ヵ年計画」は1981年から1985年まで実施されたが、その内容は幹線空港の整備と地方空港の整備であった。「飛鳥」が初飛行に成功したのは、この第4次計画が行われていた1985年である。

1971年に出された科学技術庁と通商産業省の答申では、STOLの用途として近距離都市間を想定していた。これに対し運輸省は都市部と地方の幹線空港の滑走路を中心に延長工事を行い、中型・大型の通常離着陸機の離発着を可能にしたのである。科学技術庁・通商産業省の意図したSTOL機を活用する機会は失われつつあったと言えるだろう。さらに、低騒音新型機導入の促進が図られたことで、騒音が社会問

題化した時代の航空機は退役の時期を迎えつつあった。通商産業省と科学技術庁が意図した STOL 機の利点を活用する機会は、この点からも失われていたのである。

前述の建議の中で科学技術庁航空技術審議会は、「STOL 輸送システムを構成する航行援助システム等」の必要性も挙げ、マイクロ波着陸装置 (MLS: Microwave Landing System) の導入を例示していた。しかし、「飛鳥」が初飛行に成功した 1985 年の段階では、「MLS の導入による STOL 輸送機の急勾配離着陸と曲線進入」が可能な状況までには至らなかった。STOL 輸送システムは、STOL 機、滑走路、着陸支援設備 (MLS 等) の 3 つで構成されるが、滑走路の延長に加え、着陸支援設備についても構築が不可能な状況になっていたのである。

先に述べたように、1979 年、1980 年の 2 回にわたって行われた通商産業省航空機・機械工業審議会の間接報告は、民間航空機の共同開発について、一定規模以下の航空機を自主開発する可能性は残されていた。しかし、「飛鳥」が初飛行を行った 1985 年、状況は大きく変化する。同年、通商産業省航空機・機械工業審議会が「航空機工業の当面する基本問題と政府助成の在り方に関する中間報告」(1985 年 8 月 21 日) で、国際共同開発を優先すべきであると報告したのである。これを受けて、1986 年には、航空機工業振興法が改正された。従来のこの法律の目的は、「航空機等の国産化を促進するための措置を講ずることにより、航空機工業の振興を図る」となっていた。しかし、改正された航空機工業振興法の第 1 条は、「航空機等の国際共同開発を促進するための措置等を講ずることにより、航空機工業の振興を図り、あわせて産業の技術の向上及び国際交流の進展に寄与することを目的とする」へ改正された。この時点で、1971 年から始まった通商産業省と科学技術庁の、STOL 機に対する研究開発・生産の歩調は完全に崩れ去ったと言えるだろう。STOL 機の開発・生産という共有目標は、通商産業省からの政策的支援を失ったのである。

運輸省の空港整備 5 ヶ年計画による滑走路の延長や、通商産業省の航空機工業政策の転換を受けながらも実験機は完成し、3 期に渡る飛行試験が 1985 年 10 月から開始された。「飛鳥」が初めて STOL 離陸を行ったのは、「フェーズ 0 試験」期間中の 1987 年 10 月 8 日であり、境界層制御 (BLC) は行わない状態で、離陸距離 794 m が記録された。これに加え、着陸進入経路角も当初の 6 度を上回る、10 度まで可能であった。この点では、当初の目標であった離着陸距離 700m 以下を十分に満たす成果が得られたと評価できる。そして、前述の建議で求められた輸送能力は定員 150 人であったが、実際に STOL 機が最も効率よく運用されるのは、地方都市や離島間を結ぶコミューター機であることが証明された。この結果をもとに航技研は、座席数 50 の双発 USB コミューター機の概念設計を行っている。

一方、運輸省のコミューター政策は、大きな転換点を迎えつつあった。1976 年度から運輸省は、STOL 機の運航を行う航空運送事業者に対して運航費の補助等を実施していたが、「輸送区間は離島に限定」「客席数 19 席以下」などの条件が付けられていた。だが、1983 年になると「小型飛行機を使用して行う二地点間旅客輸送に関して」という新しい航空局長通達が出された。これにより、「離島」に限られていたコミューター路線が、座席数 19 以下の条件付ながら内陸にも認められるようになった。さらに 1985 年には、それまでの座席数 19 以下を大きく改め、60

以下とする規制緩和が行われた。ここで、航技研が概念設計を行った STOL コミューター機と、運輸省のコンピューター政策の座席数がほぼ一致するという事態が出現したのである。皮肉なことに、通商産業省と科学技術庁が共通に目指した方向で作った STOL 機は、その目標を満たすよりは、運輸省が模索していたコンピューター機に適していることが実験によって解明されたことになる。しかし、この一致にもかかわらず、STOL 機を実用化する手段を航技研は持っていなかった。そして、監督官庁である科学技術庁も、開発・生産の権限を持っていなかったのである。

これまで、航技研の STOL 実験機「飛鳥」のプロジェクトを、開始から終了まで見てきたが、同時期に同研究所と航空機用ジェット・エンジン技術研究組合で研究開発が行われた「FJR710」についても、プロジェクトの流れを見てみたい。

航技研内に設置された「V/STOL 委員会」は、V/STOL 機に関する調査・重要研究課題の検討を 1961 年から開始した。続いて翌年には、推力重量比の大きい超軽量リフトエンジンの研究試作を目標とした「ジェット・エンジン研究委員会」も、同研究所内に設けられた。つまり、V/STOL と同様に、ジェット・エンジンも 1960 年代から航技研内で研究が始まっていたのである。そして、1963 年には、V/STOL 委員会において基礎的研究から実験機の試作に至るまでの研究の進め方について審議し、リフトエンジンについては、推力重量比約 10 を目標にした「JR100」エンジンの試作に着手することになった。

これに対し、ジェット・エンジンに関心を持つ企業は、航技研より 10 年も早く、1952 年に航空活動が解禁された直後から、分解組立作業、運転実験等に着手していた。だが、その後は具体的な開発の進展はなく、防衛庁が使用する航空機用のエンジンのライセンス生産が中心であった。このように 1960 年代までは、官民共に研究開発は行ったものの、実験用或いは、ライセンス生産を中心とした防衛需要への対応が目的であった。民間機に搭載するジェット・エンジンを、自主的に開発・生産することが可能な段階には達していなかったのである。

通商産業省と科学技術庁が、STOL 機の研究開発と生産で同じ方向性を有していたことは前述の通りであるが、この 2 省庁は、ジェット・エンジンに関しても認識が一致していた。通商産業省航空機工業審議会の間答申をもとに、1971 年から、通商産業省工業技術院の大型工業技術研究開発制度（大型プロジェクト）による航空機用ジェット・エンジンの研究開発が開始された。推力 5 トンのエンジン開発を最初の 5 年の目標とし、Fan Jet Research の頭文字と 1971 年スタートの意味から、開発するエンジン名は「FJR710」に決定した。第 1 期（1971 年度より 5 年間）では、中間目標性能を設定して、フロントファン、圧縮機、燃焼器、タービン等の構成要素の性能向上を目的とした研究開発と、推力 5 トンのエンジンの試作が目標であった。そして、第 2 期（1975 年度から 6 年間）では、目標推力を 10 トンに上げ、エンジン技術の確立・設計試作・運転研究を予定していた。エンジンの研究開発は、要素技術の研究開発、設計・試作研究、運転研究に分けることが出来る。このうち、要素技術は主として航技研が、設計・試作及び運転研究は、航技研による設計資料の提供及び指導の下で、石川島播磨重工、川崎重工、三菱重工の 3 社が担当した。科学技術庁傘下の航技研と、通商産業省の下で結集した民間企業の連携プレーと言

えるだろう。そして、航空機用として、低騒音・低公害で総合効率が高く、頻繁な離着陸に耐え、保守点検整備性の良い高性能ファンジェット・エンジン技術の確立を目指していた。「飛鳥」のような実用化は、想定していなかったのである。

「飛鳥」が具体的な姿を現していなかった 1970 年代後半、第 1 期の開発（1971 年度より 5 年間）で地上運転試験を終えた「FJR710/20」（推力 5 トン）は、1976 年から 1981 年の第 2 期で「FJR710/600」（推力 5.1 トン）になった。そして、研究開発を進めた結果、実機への搭載を想定した試験が行われることになった。これは、航空機用搭載エンジンとしての基本的な性能の確認が要求されるものである。しかし、わが国が開発したジェット・エンジンは、ほとんどが試験・研究段階のものであり、十分な試験設備は整備されていなかった。そのため、これらの試験は 1977 年 11 月から、英国国立ガスタービン研究所（NGTE：National Gas Turbine Establishment）の高空性能機能試験装置で行うことになった。試験の結果は、目標性能にはほぼ達するものであった。この結果が、開発水準の高さを示すことになり、「FJR710」の研究開発は、予想もしていなかった方向へ動き出すことになった。

英国国立ガスタービン研究所（NGTE）での試験結果に関心を持ったロールス・ロイス社及び同研究所関係者は、試験が実施された 1977 年 11 月の直後である同年 12 月に、ファンジェット・エンジン「RB432」の共同開発の提案を日本側に行った。需要予測や資金調達方法の検討を改めて行った結果、1979 年 12 月に石川島播磨重工、川崎重工、三菱重工の 3 社とロールス・ロイス社の間で、「RJ500」と呼ばれるエンジンの日英国際共同開発計画が決定した。試作エンジンは 1982 年 2 月に完成したが、この試作機がテストに入った同年、アメリカの P&W 社、ドイツの MTU 社、イタリアの FIAT 社も加わった。その結果「RJ500」の開発は発展的に解消し、5 カ国共同開発事業としての「V2500」計画がスタートした。1988 年に完成したエンジンは、安全性を保証するアメリカ連邦航空局の型式承認を得て、1989 年から生産・販売が開始された。開発・生産に関する日本側の分担比率は 23%で、ファン、低圧圧縮機・高圧タービンの一部を担当している。

以上のことから、技術移転機関を持たず、対応出来る範囲も限られた航技研のような組織では、実用化に向けた研究開発を実施することが非常に難しいことが明らかになった。STOL 輸送システムの構築という意図があるにもかかわらず、実際に出来るのは研究開発のみのため、最終的な評価は技術成果を強調することになるのである。また、通商産業省、運輸省、科学技術庁という航空行政を所管する省庁の意見の相違により、プロジェクトの目的と役割が容易に変化することの危険性も浮かび上がってきた。これに加え、同じ省庁が関与したプロジェクトでありながら、実用化という観点から見ると失敗した「飛鳥」と成功した「FJR710」では、研究開発の性格が全く異なることも判明した。「飛鳥」のような STOL 技術は、研究開発は実施されていたものの、まだ社会的には受容されていない技術であった。そのため、研究開発と同時に、最終的に使用することになる運航主体に対して、「如何に受容させるか」という視点も求められたのである。しかし、プロジェクト全体を通じて、このような視点は欠落していた。これに対してジェット・エンジンは、既に受容された技術であり、「FJR710」のプロジェクトは、開発能力の遅れをキャッ

チアップさせることが主たる目的であった。「如何に受容させるか」という視点は、必要としなかったのである。また、「飛鳥」と「FJR710」では、技術の性格も異なっていた。システム工学の概念である「エンジニアリングシステム」の枠組みに当てはめると、STOL 輸送システムは、STOL 機、滑走路、着陸支援設備 (MLS 等) の3つで構成されることになる。しかし、滑走路や着陸支援設備は、運輸省が管理しているため、実際に航技研が対応できるのは、STOL 機の研究開発のみであった。そのため、運輸省の空港整備計画に伴う滑走路の延長、MLS の研究開発と実用化の遅延が、STOL 輸送システムの構築には致命的なダメージとなった。これに対して、ジェット・エンジンは、航空機の構成要素の一つであるため、開発に当たっては、航空機メーカーが開発する機体の規模 (座席数) を把握し、それに最適なエンジンを設計することが、最重要課題であった。「飛鳥」にダメージを与えた、滑走路の延長、MLS の研究開発と実用化の遅延の影響は、あり得なかったのである。

そして、研究開発評価の内容によっては、プロジェクトを止める機能がなくなり、逆に加速させる要因になることも明らかになった。プロジェクトの途上で開催された審議会の審議内容を検討してみると、どの審議会も技術を軸に機能しており、STOL 機を取り巻く情勢の変化を反映するものではなかった。毎年、技術の達成度と進捗状況の評価を実施したことが、プロジェクトを加速させたと言っても過言ではないのである。このように、航空機の研究開発・生産・運航、STOL 輸送システムの構築の中で、実際に対応出来る範囲が限られていたにも関わらず、これらを考慮しないまま、航技研が実用化を前提にプロジェクトを進めた結果が、「飛鳥」の結末であったと言えよう

第3章 海の新幹線：テクノスーパーライナー

1973年の石油危機を発端に、わが国の産業政策の役割は大きく変化した。その一つとして実施されたのが、不況産業の調整であった。1978年に制定された特定不況産業安定臨時措置法の下では、構造不況業種に指定された産業に対して、様々な調整策が講じられた。さらに、1983年には特定産業構造改善臨時措置法が施行され、設備処理も促進された。造船業も例外ではなく、石油危機に端を発した海運市況の低迷、タンカーを中心とする船腹過剰による新造船受注量の激減、既受注船のキャンセル及び、1977年以降の急激な円相場の上昇により、深刻な不況に直面していた。そのため、2回に渡る設備処理が実施され、企業数は61社から26社にまで減少した。この沈滞した造船業の再建を図るべく、運輸省海運造船合理化審議会が1988年8月23日に提出した意見書が、「今後の造船対策のあり方について」である。この意見書を受け、わが国の造船行政を所管してきた運輸省海上技術安全局を中心に、TSLの研究開発に着手することになった。そして、具体的な開発目標は、①速力50ノット、②貨物積載重量1000トン、③航続距離500海里、④荒れた海でも安全に航行できる対航性に優れていることの4点に設定された。

開発目標の決定を受け、造船大手7社で構成されるTSL技術研究組合が1989年

7月に設立された。1993年度まで5年間の研究では、最初の3年で要素技術の研究、残りの2年で実海域模型船の試験研究を予定していた。船型としては2種類が採用され、以下に示すように、石川島播磨重工・川崎重工・住友重機械工業・日本鋼管・日立造船の5社が揚力式（水中翼型）の「TSL-F」を、三菱重工・三井造船が空気圧力式（エアクッション型）の「TSL-A」を担当することになった。しかし、技術研究組合による研究開発は、実用化の一手手前で終了し、その後は、需要の動向を踏まえて実用商船を開発することが想定されていた。つまり、これから述べるような実用化を直接目指す状況になることは、予想していなかったのである。研究開発の費用は、造船業基盤整備事業協会を通じた国からの補助、参加した造船7社の賦課金の他に、日本船舶振興会が支援を行った。

研究開発の決定を受け、運輸省や関係団体には、TSLの導入条件を検討するための委員会が設置された。日本造船振興財団は、1989年から「超高速船の導入の円滑化に関する調査」に着手した。また、運輸省港湾局も「新形式超高速船に対応した港湾の在り方に関する調査」を翌年から実施した。ここで留意しておくべき点は、シップ・アンド・オーシャン財団の調査は、TSLの必要性を確認するものではなかったという点である。確かに、TSLの潜在的な需要の検討と、潜在需要を顕在化させるための様々な周辺環境条件の検討は行われている。しかし、TSLの導入は所与となっており、アンケートは、上場運輸業及び複合輸送業255社と、上場製造業、卸小売業及び食品輸入業者1493社を対象としていた。つまり、荷主が中心である。一方、運輸省港湾局の調査は、TSLターミナルの配置を検討するための基礎資料の作成が主たる目的であった。そして、大変興味深いことに、実用化を妨げる要因として、開発終了後に表面化することになる船価や運航コストの問題は、この2つの調査でも既に予測されていた。開発目標を達成すべく、従来型の船舶とは全く異なる技術を搭載することになったTSLが高価になることは、容易に予測されたのである。しかし、解決策は講じられずに、プロジェクトは加速していくことになった。

1980年代後半、このようにシーズ先行で始まったプロジェクトに、具体的な用途を決定付ける社会的な状況が出現した。それが、モーダルシフトである。この時期は、長期不況で低迷する造船業とは対照的に、わが国にはバブル経済の時代が到来していた。そして、景気の上昇に伴って国内の貨物輸送量が急激な伸びを示す一方で、労働力不足、交通渋滞の激化、環境問題等が表面化した。これらはトラック輸送に起因するところが大きく、その解決策として浮上したのがモーダルシフトであった。1991年6月の運輸政策審議会答申「21世紀に向けての90年代の交通政策の基本的課題への対応について」では、モーダルシフト推進のための基盤整備として、TSL導入等の施策を検討することの必要性が指摘された。また、翌年3月の海運造船合理化審議会答申「今後の内航海運対策のあり方について」では、内航海運のニューフロンティアとして、TSLの導入による内航貨物輸送の発展方策の検討も求めていた。このように、造船業の活性化策として、海運会社のニーズとは関係なく、いわゆるシーズ先行でスタートしたTSLに対し、モーダルシフトの流行という同時代の物流を取り巻く環境が、用途を与えたと言えるだろう。

TSLの用途が具体化すると、自民党の国会議員による「TSL 実用化促進議員連盟」が、1991年10月に結成された。そして、翌月からは、全国各地の自治体を中心となって誘致活動が開始された。つまり、2種類の実験船の建造によって、TSLの技術的な可能性が実証される前から、既に実用化を前提とした誘致活動が開始されていたことになる。各地域の活動は、研究開発に直接影響を及ぼすような力は持っていない。しかし、より細かな潜在的需要を明らかにしたことで、TSLの存在意義を強調する役割を果たしたと言えよう。

このように行政によって用途が決定され、政治(国会議員)と地方自治体によって後押しされたTSLのプロジェクトであるが、運航することになる海運会社側の認識は、両者の期待とは大きく異なっていた。そして、その実用化を楽観視するものではなかった。運航することになる海運会社側は、TSLに対して冷めた見方をしていたのである。そして、結論を先に言えば、TSLの用途を決定付ける背景となったモーダルシフトに対しては、TSLとは技術的に全く異なるタイプの船舶の導入によって、推進を図ることになったのである。

要素技術の確立に続き、1992年からはTSLの実験船の設計・建造が開始された。そして、運輸省港湾局やシップ・アンド・オーシャン財団も、TSLに対応した荷役装置の研究開発に着手した。また、輸送システムを具体化するための調査も、運輸省の関係局によって実施されることになった。運輸政策局の調査は、貨物の集配体制等の陸上輸送分野を中心に、TSLに対応した新たな輸送システムのイメージを明らかにすることを目指すものであった。また、海上交通局の調査は、実際のTSL輸送サービスを事業として運営していくソフト面での仕組みを検討することが目的であった。ここで注意しておきたいのは、いずれの調査も、先の調査と同様にTSLの導入を前提にしており、その必要性を問う性格のものではなかったということである。これ以後、総合実験が終了するまで、新たな調査は実施されていない。すなわち、最も関係が深いとされる海運会社側の懐疑的な声に耳が傾けられることは、ついに無かったのである。

1994年に入ると、「TSL-F」と「TSL-A」の2種類の実験船が姿を現した。そして、いずれの成果も、要素技術の研究に基づいて計画された技術目標をほぼ満足するものであった。これらの技術成果を踏まえ、「TSL-A」を用いた総合実験が1995年から開始された。この実験は、荷主の戸口(ドア)から戸口(ドア)まで運送者の責任の下で一貫して輸送するという、ドア・ツー・ドアの一貫輸送システムの中に、TSLを組み込む際の諸課題を検討するための基礎データを取得することが目的であった。その結果、現行の陸上・海上輸送と比べて大幅な時間短縮が可能であることや、荷傷み、荷崩れもなく良好な輸送環境であることが確認された。また、荷役装置の性能を実証する実験も、高速輸送実験と同時に全国各地の港で実施され、確実にコンテナの積み卸しが行えることを証明した。実験船が技術目標を達成し、高速輸送と荷役装置も計画通りの成果が得られた点を考慮すると、ソフトに加え、ハードでも、輸送システムに一定の目処が付いたと言えるだろう。なお、事業運営に関する研究は、就航率や燃費の推定、保守整備体制等に必要データの取得・解析・評価が目的であり、事業の採算性を調査するものではなかった。

1995年度に実施された総合実験をもって、TSLの研究開発は終了し、所定の目的を達成したTSL技術研究組合も、1996年5月に解散した。ソフトとハードの両面で成果を得たTSL輸送システムは、事業化に向けた最終段階を迎え、これを支援するための調査委員会も運輸省内に設置された。しかし、この調査により、それまでの流れを停止させる事態が生じた。実験船の建造前の調査で指摘された船価と運航コストの問題が、表面化したのである。TSL事業化支援調査の目的は、TSL事業に関心のある民間事業者へのヒアリング等を通して、主体的な取り組み状況と、TSL事業に係わる事業推進上の課題を探ることであった。提案があった13の航路を検討した結果、多くが第3セクター方式を想定していること、全てが「TSL-A」の仕様を希望していること、現状では支援なしに事業化可能と回答したグループは無いこと等が明らかになった。この2つの問題により、意図したような純民間ベースでの事業化は、非常に困難なことが判明した。要素技術の研究段階の調査で指摘された課題と業界紙で示された海運会社の懸念が、そのまま表面化したと言えよう。

この後は、TSLや荷役装置、専用港湾で構成されるTSL輸送システムとしてではなく、フェリーとして、TSLを単体で実用化することも試みられた。しかし、実用化に繋がることはなく、しばらくの間、TSLは表舞台から姿を消すことになる。また、運航コストと船価の問題に加え、TSLの用途を決定する背景となったモーダルシフトも、停滞する状況にあった。運輸政策審議会の答申が意図したようには、物流の効率化が進展しなかったのである。景気の後退に伴って国内の貨物輸送量が減少する一方で、規制緩和の推進によって運輸業者の数が増加したことで需給関係が逆転し、業者間の競争が激化したのである。運賃の大幅な下落に伴い、当初の目標であったトラックに対する競争力を、TSLは完全に失っていた。また、プロジェクトの途上で積極的に行われていた全国各地の誘致活動も、総合実験の終了後は下火になっていた。また、地域経済の起爆剤として期待されていたTSL専用港湾も建設されていない。「エンジニアリングシステム」によって分類すると、TSL輸送システムは、船舶、荷役装置、専用港湾で構成されることになる。しかし、専用港湾の欠落を考慮すると、TSL輸送システムは、第2章で述べたSTOL輸送システムと同様に、未完成だったと言えるだろう。

1996年にTSL技術研究組合が解散した後も、運輸省内では実用化に向けた方策の検討が続いていた。そして、最終的にTSLを復活させたのは、ミレニアムプロジェクトであった。1999年12月に実用化が正式に決定し、保有・リース・保守管理を行うための会社も設立された。しかし、実用化第一船の用途は、環境問題というミレニアムプロジェクトとの本旨とは直接関係のない小笠原航路の貨客船となることが、2002年に4月に決定された。そして、2003年から建造が開始された第一船は2005年8月に完成し、船舶の安全と性能を確認するための海上公試運転が開始された。ところが、完成より2ヶ月前の2005年6月には、運航を予定していた小笠原海運が、TSLの保有、リース、保守管理を行うテクノ・シー・ウェイズ社に対し、船舶のリース契約の解除を通知するという事態が発生していた。報道によれば、燃料費の高騰に伴う運航コストの上昇が原因である。結果的に、小笠原航路への就航は実現せず、115億円を投じて完成した船舶は、建造を行った三井造船

玉野事業所に保留されたままである。研究開発終了後の船価と運航コストの問題の表面化に続き、TSLは2度目の挫折に直面したと言えるだろう。また、技術研究組合に参加した造船大手7社にも、TSLタイプの高速船の建造に着手する動きはない。

以上のことから、TSLのプロジェクトは、造船不況対策から、実用化へ向けた研究開発へと目的が変化してきたことが明らかになった。しかし、開発を主導した行政は、プロジェクトを推進するのみで、この変化に対応していなかったのである。シーズ先行で開始されたプロジェクトは、モーダルシフトの流行を受けて内航海運への投入が決定すると、実用化へ向けて急加速を始めた。しかし、後に表面化する船価と運航コストの問題は、実験船の建造前から指摘されていたのである。また、使用することになるはずの海運会社側も、TSLに対しては懐疑的であった。ところが、運輸省や関連団体がプロジェクトの各段階で実施した調査は、いずれもTSLの導入を前提にしており、ニーズの把握、軌道の修正、必要性の確認等の機能は有していなかった。実際の役割は、用途の模索、プロジェクトの推進、実用化の促進だったのである。つまり、矛盾を内包しつつも、目的を維持することが可能なシステムであった。また、研究開発を行った技術研究組合は、技術開発に特化した組織であり、独自の対策を講じる等の行動は不可能であった。

このように、必要なはずの機能が不備のままのプロジェクトを、さらに加速させたのが、政治(国会・国会議員)と地方自治体であった。実験船が建造される前から、国会議員と地方自治体による実用化を前提とした誘致活動が開始され、TSLの存在意義は強調された。また、船価と運航コストの問題が表面化した後も、具体的な解決策が示されないまま、「第5次の全国総合開発計画」に、TSLの実用化推進が盛り込まれた。そして、閣議決定を受けたミレニアムプロジェクトによって実用化が決定されたのである。矛盾を抱えたままのプロジェクトを、行政(運輸省)が推進し、政治(国会・国会議員)が支援した結果が、実用化第一船の完成にもかかわらず、海運会社に受け取りを拒否されたというTSLの現状であると考えられる。

第4章 「死の谷」の原因の分析

これまで、国家プロジェクトによる輸送技術の研究開発の中で、技術開発に成功したにもかかわらず、実用化に結びつかない状況が発生した、STOL実験機「飛鳥」と新形式超高速貨物船TSLに焦点を当て、その原因を考察してきた。第2章では、航技研のように対応出来る範囲の限られた組織では、実用化に向けた研究開発を実施することが難しいことが明らかになった。1980年代中期の実用化を前提としたにもかかわらず、研究開発・生産・運航のうち、実際に航技研が出来ることは研究開発のみであった。そして、生産を所管する通商産業省、運航を担当する運輸省の政策は、様々な社会的背景によって変化したが、この変化に対応するための手段も、航技研は持っていなかった。また、航空技術審議会の建議で示されたSTOL輸送システムは、STOL機、滑走路、着陸支援設備(MLS等)の3つで構成されたが、この構成要素の中で航技研が担当出来るのも、STOL機のみであり、残りの2つは

運輸省の所管であった。つまり、「飛鳥」のプロジェクトは、実用化までの道筋とSTOL 輸送システムの構築の2つで問題を抱えていたのである。これに対し、ファンジェット・エンジン「FJR710」のプロジェクトでは、航技研も主要な部分に従事した。しかし、これは、通商産業省の大型工業技術研究開発制度内の活動であるため、研究開発・生産の連携が崩れることはなかった。さらに、プロジェクトの最終目標は、実用化ではなく、「高性能ファンジェット・エンジン技術の確立」にあったため、航空会社等に対する市場調査や社会情勢の変化を考慮する必要もなかった。最終目標と、航技研・技術研究組合が対応できる範囲は、完全に一致していたのである。

第3章では、TSL 技術研究組合のように技術開発に特化した組織が、直接、実用化を目指すような研究開発を行うことの危険性が明らかになった。造船不況対策の一環として、シーズ先行で開始された研究開発は、モーダルシフトの流行によって内航海運という具体的な用途が決定された。しかし、実験船が建造される前から、運航コストや船価の問題が指摘されていたにもかかわらず、これを反映する機能を技術研究組合は有していなかった。そして、運輸省の関係局と関連団体による調査と、国会議員を始めとする誘致活動により、プロジェクトは急加速を始めた。だが、これらの調査の主たる役割は、TSL の必要性や運航する場合の経済性の確認ではなく、プロジェクトの推進だったのである。

以上では、第2章と第3章で分析した3つのプロジェクトの概観を述べた。では、技術開発に成功したにもかかわらず、実用化に結びつかないという「死の谷」については、何が引き出せるだろうか。「死の谷」が発生した「飛鳥」とTSL のプロジェクトの分析から、その原因を考察すると、実用化という目標と、実際に研究開発を実施する組織が対応出来る範囲の根本的な相違が挙げられる。そして、この点については、①研究開発主体と所管省庁の関係②研究開発主体と運航（運行）主体の関係③研究開発主体と輸送システムの構築体制の3項目から、より詳しく説明することが可能である。

「飛鳥」の研究開発では、生産を所管する通商産業省の政策が大きく変化した。これは、もし「飛鳥」のSTOL 技術が、航空会社側のニーズと一致しても、実用化を図ることは難しい状況にあったことを意味する。これに対しTSL は、計画当初の段階から問題点が指摘され、海運会社側も懐疑感を抱いていた。それにもかかわらず、研究開発・生産・運航を一括して所管する運輸省は、実用化第一船を建造することが可能であった。このように、シーズとニーズの関係ではなく、所管省庁の所掌の差異により、実用化の可否が決定されたことになる。この点を考慮すると、研究開発主体と所管省庁の関係は、研究開発・生産・運航（運行）までを一貫して支えることが可能な体制が必要であろう。

また、実用化を前提に、2つのプロジェクトでは、実験機、実験船の大型化が図られた。しかし、航技研とTSL 技術研究組合は、いずれも技術開発に特化した組織であり、運航（運行）主体との接点を構築するための仕組みは有していない。そして、途上で実施された関係部局や関連団体による研究開発の評価や調査は、導入が所与となっており、その必要性を、運航（運行）主体に問うものではなかった。

近年、様々なイノベーションモデルが存在するが、両プロジェクトは、基礎から応用までの研究が直線的に進行するリニア型のそれであった。ジェット・エンジン「FJR710」のように、技術の確立を目的としたキャッチアップ型の研究開発であれば、この方式でも有効であろう。しかし、受容されていない新しい技術の実用化を目指す場合、技術開発と同時に、開発する技術の経済性等についても慎重に検討することが重要なはずである。だが、技術開発に特化した組織である航技研やTSL技術研究組合では、それが欠落していた。また、関係部局や関連団体による調査も、そのような機能は有していなかった。その結果、TSLでは、実用化第一船の完成直前に、海運会社側の受け取り拒否という事態が発生した。また、「飛鳥」についても、航空会社は導入に対して否定的な見解を述べていた。この点から、輸送技術の研究開発では、研究開発主体と運航（運行）主体が、開発する技術に関して、様々な観点から議論することが可能な体制構築の重要性が浮かび上がってくる。

これに加え、「飛鳥」やTSLのプロジェクトでは、新たな輸送システムの構築が最終目標として掲げられた。しかし、いずれのプロジェクトも、省庁の所管や担当部局・部門の相違等による、システムの構成要素の欠落が見受けられる。「飛鳥」のプロジェクトで意図されたSTOL輸送システムは、STOL機、滑走路、着陸支援装置の3つの要素で構成されたが、STOL機以外は、運輸省の所管であった。また、TSL輸送システムも、TSL、専用荷役装置、専用港湾の3つからなる予定であったが、地方自治体等の所管となる専用港湾は建設されていない。これらの状況は、航技研やTSL技術研究組合のように研究開発を行う組織だけで、輸送システムを構築するには限界があったことを意味している。研究開発主体が、輸送システムの構築体制に、どのくらい関与できるかという点も重要な意味を持つと言えるだろう。

以上の点を踏まえると、①研究開発主体を一貫して支える所管省庁、②研究開発主体と運航（運行）主体の密接なコミュニケーション、③研究開発主体による輸送システムの構築体制への関与という3つの要因から、「死の谷」の発生の有無を判断できることになる。つまり、この3つを全て満足できれば、「死の谷」は生じないのに対し、1つでも欠落すれば、生じることになる。そこで、次章では、国家プロジェクトによる輸送技術開発の成功例とされる東海道新幹線のプロジェクトを、この3つの枠組みから考察してみよう。

第5章 東海道新幹線の開発

戦前から東海道線は国の大動脈であり、増え続ける旅客と貨物の需要に対して機能の維持・拡大を図るため、様々な対策が講じられてきた。しかし、戦後も需要の増加の勢いは衰えず、昭和30（1955）年より開始された第1次5カ年計画では、東京―大船、平塚―国府津、大府―枇杷島、京都―草津間の線増や、駐車場の改良、車両の増備が計画された。また、翌年秋までに全線を電化することで輸送力の向上も試みられた。ところが、旅客・貨物共に増加量は著しく、高度経済成長に伴う、さらなる伸びも予想された。また、昭和30（1955）年7月の実績によれば、1日当りの列車の通過回数は、大船―平塚間110回、静岡―島田間86回、大府―名古屋

屋間 90 回、京都―草津間 101 回であり、特急、急行、準急、普通、さらに貨物列車と、速度の異なる列車の混合交通のため、増発余裕はわずかしかなかった。そして、昭和 40 (1965) 年には、理論的線路容量を超える区間の出現も予測された。このような状況に対して国鉄は、昭和 31 (1956) 年 5 月 10 日、本社内に東海道線増強調査会を設置し、東海道線の将来についての検討を開始した。この調査会は、技師長の島秀雄を委員長に、常務理事・局長・副技師長・審議室・調査役・鉄道技術研究所所長等で構成された。調査会では、今後の経済の見通し、東海道線の輸送量の想定、全運輸機関に対する輸送需要の変化と国鉄が負担すべき輸送量の推定、高速自動車網整備に伴う国鉄への影響等が課題となった。また、輸送力増強の手段としては、狭軌併設案、狭軌別線案、広軌 10 駅案、広軌 22 駅案、広軌電鉄案が検討された。そして、昭和 32 (1957) 年 7 月に、その結果を十河総裁へ報告し、これを受けた十河総裁は、宮沢胤勇運輸大臣に対し、東海道線の増強の具体策の検討を要請した。

この要請の結果、閣議決定により、運輸大臣の諮問機関としての日本国有鉄道幹線調査会が、昭和 32 (1957) 年 8 月 30 日に運輸省内に設置された。また、これより 1 ヶ月前の 7 月には、東海道新線の調査・計画及びこれに関連する幹線の輸送力増強に関することを専門に所掌するための幹線調査室が、国鉄本社内に発足した。東海道新線の調査・測量及び設計に当たり、幹線調査室が参考にしたのは、昭和 13 (1938) 年から鉄道省によって進められたものの、戦況の悪化に伴い中止された幹線鉄道建設計画、いわゆる弾丸列車である。後の東海道新幹線の基礎となる技術の研究、建設基準の決定、ルートを選択、用地買収、新丹那・日本坂等のトンネル建設は、この計画で既に着手されていた。東京―名古屋ルートは 45%が決定済みであり、東京―大阪間 515km のうち、18%が用地買収済みであった。なお、調査や測量に加え、幹線調査室では東海道新幹線の採算性に関する検討も行われた。

そして、この計画を理論や技術の面で支えたのが、付属機関の鉄道技術研究所であった。鉄道技術研究所の主な役割は、鉄道・軌道その他の陸運に関する技術上の試験および研究、鉄道技術に関する特許権および実用新案権の取得および調査、一般の委託による鉄道・軌道その他の陸運に関する技術上の試験及び研究であった。そして、運輸省や国鉄本社内で新幹線についての検討が行われる前から、個人的なレベルではあるが、鉄道技術研究所内では、鉄道の高速度化や車両の振動に関する研究も行われていた。そして、昭和 32 (1957) 年は、研究所の創立 50 周年という節目の年であり、一般向けの講演会を開催した。その要旨は、「東京―大阪間に 450～500km の広軌新幹線を建設し、カーブは最小半径 1500m におさえ、車両は軽構造、低重心、空気ばねの電車とし、馬力は 3500～4000 馬力、しかも振動は現在の数分の 1 程度となり、乗心地も現在の電車では想像も出来ない快適なものとなる。スピードは平均 150～160km/h、最高 210km/h であるが、研究目標としては 250km/h を考慮し、ブレーキは風圧および電磁ブレーキが併用され、信号は車内信号を利用して列車の集中制御を行うこととなる」であった。この時点では、新幹線は計画段階に過ぎず、また、鉄道技術研究所も開発を主導する立場にはない。しかし、鉄道の高速度化という点で、運行主体である国鉄と研究開発主体である鉄道技術研究所が、

同じ方向を向きつつあったという点を指摘しておきたい。

昭和32(1957)年8月に運輸省内に設置された日本国有鉄道幹線調査会は、中村三之丞運輸大臣より、「日本国有鉄道東海道本線及びこれに関連する主要幹線の輸送力増強並びに近代化の基本的方策如何について」の諮問を受け、活動を開始した。そして、同年11月に、「東海道に新規路線を建設する必要がある、かつ輸送の行き詰まりの時期と建設に必要な期間を考慮するとき、これが着手は喫緊のことであると認む」という中間答申を行った。

そして、昭和33(1958)年3月27日、第一分科会は、「東海道における新規路線は広軌別線を適当と認める」と審議結果を報告した。また、同年4月2日には、第二分科会が、①所要資金1725億円で利子その他を合算して1948億円である、②所要資金は、わが国の経済力で賄い得ない程のものでない、③将来収支は十分償い得る。新規路線のための運賃値上げの必要はないとの報告を行った。同年7月7日、各分科会の報告を総合的に審議した日本国有鉄道幹線調査会は、最終答申を永野護運輸大臣に提出した。同年12月、永野大臣が閣議に報告した答申は、経済企画庁に設置された交通関係閣僚協議会に付議された。この報告を受けた閣議は、「早期に着工し短期間に完成することが望ましい」として、東海道新幹線の建設着工を12月19日に正式に決定した。

昭和33(1958)年3月27日、運輸省内に設置された日本国有鉄道幹線調査会の第一分科会が「広軌別線案が妥当である」という結論を出す、東海道新幹線の調査・測量ならびに用地や施設の保存・管理を担当させるために、前述の幹線調査室内に幹線調査所(4月1日付)が設けられた。続いて、日本国有鉄道幹線調査会の第二分科会が、「所要資金は1725億円、利子を含めて1948億円であり、将来収支は十分償いうる」との報告を提出した。昭和33(1958)年4月には、国鉄本社内に新幹線建設基準調査委員会が設置された。この委員会の役割は、車両・軌道・信号・橋梁・トンネル等の新幹線についての建設基準に関する事項を調査審議することであった。また、新幹線建設基準調査委員会内には、施工基面幅専門委員会、車両専門委員会、電化設備専門委員会も発足した。そして、昭和33(1958)年4月18日の第1回から、昭和36(1961)年8月4日の第20回委員会までに、戦前の新幹線基準をさらに電車列車に改め、将来250km運転とする新技術の導入、広軌新幹線建設に必要な建設基準等を審議決定した。昭和33(1958)年8月16日には、幹線調査所を発展的に廃止し、これに代わる幹線調査事務所が設置され、東海道新幹線の調査、測量、設計、線路用地の保存管理等の活動を開始した。また、翌年4月18日に運輸大臣の東京・大阪間の線路増設工事の許可が下りると、本社の幹線調査室は幹線局に昇格した。この組織の所掌は、東海道新幹線の調査および計画から予算の管理、電力・信号・通信・車両の製作・新設・改良、土地の取得・管理まで多岐に渡るものであった。このように、国鉄だけで、輸送システム構築の全てを担う体制が作られていたのである。

鉄道の高速化という点で、運行主体である国鉄と同じ方向性を有していた鉄道技術研究所は、新幹線の建設着工が決定すると、全面的な支援体制をとった。これは、既存の研究室組織を超越した特別な重点研究班を置き、班長の指揮の下に種々の研

究分野に渡る専門研究者を集め、能率的かつ強力に研究を進めるためであった。東海道新幹線の建設着工が決定した後は、運行主体である国鉄と、研究開発主体である鉄道技術研究所の連携体制が構築されていたと行うことができよう。

東海道新幹線では、橋梁・トンネル・軌道・電気等の工事と、車両・信号等の研究開発が同時に進められた。昭和34(1959)年4月18日付けで東京幹線工事局が設置され、新幹線は、調査から施工の段階へ移行した。工事は、全体の工期を支配する長大トンネルから着工することとし、全体工期は、新丹那トンネルの完成を目処に計画が進められた。また、最高速度200km/hで営業するためには、長期にわたる高速運転試験が必要であるため、試運転線区を選び、量産車の生産期間と試験期間とを合わせて、全線の開業2年前におよそ50kmの試線線路を完成することとした。トンネル工事は、昭和34(1959)年9月に新丹那トンネルに着手し、橋梁工事は翌年1月の相模川、酒匂川から開始された。また、軌道・電気等の工事は全線同時着工となり、最盛期の現場従業員は、軌道・電気関係を含めて毎日4~5万人に上った。そして、昭和39(1964)年7月1日に最後のレールが締結され、全線の線路の全通式が川崎市内で行われた。一方、車両の開発は、国鉄本社の臨時車両設計事務所が中心になり、鉄道技術研究所、民間会社の協力により進められた。そして、昭和37(1962)年6月からは、各種の試験をモデル線において開始し、同年10月31日には時速200km、翌年3月30日に時速256kmを記録した。

橋梁・トンネル・軌道・電気等の工事と、車両・信号等の研究開発が同時に進められた結果、昭和39(1964)年10月1日に東海道新幹線は開業した。以来40年以上、大規模な事故は発生していない。また、昭和39(1964)年の開業当初は、予測を下回ったものの、それから2年後の昭和41(1966)年以降は、予測を大幅に上回る状況が続くことになった。この点を考慮すると、東海道新幹線は、技術的にも経営的にも成功したと言えるだろう。

順調に進んだように見える東海道新幹線のプロジェクトであるが、工事と研究開発が同時進行する中では、工事費の膨張が問題になっていた。工事費の総額は、計画当初に予想された1972億円から、ほぼ2倍に近い3800億円にまで増加したのである。この背景には、工事期間中の著しい経済成長に伴う用地費の高騰、賃金・資材価格の上昇のほか、騒音問題等に配慮した計画の変更による線路の高架化等が指摘されている。このような状況にもかかわらず、工事を遂行できた要因の一つが、世界銀行からの借款であった。この借款には、2つの契約があった。1つは、国鉄が世界銀行から8000万ドルを借り受ける契約、そして、もう1つは、国鉄が借り入れた計画が予定通り完成するよう、政府が資金上、行政上のあらゆる努力を保証するという保証契約であった。この契約により、東海道新幹線は、必要に応じて政府の支援を得ることが可能な体制を将来に渡って確保していたことになる。

これまで東海道新幹線の建設を通史的に述べてきた。以下では、第4章で得られた3つの枠組み①研究開発主体を一貫して支える所管省庁、②研究開発主体と運航(運行)主体の密接なコミュニケーション、③研究開発主体による輸送システムの構築体制への関与から、このプロジェクトを考察してみよう。東海道新幹線の建設は、国鉄本社と付属機関である鉄道技術研究所が中心になって実施された。しかし、

計画段階では、監督官庁である運輸省にも、調査を行うための日本国有鉄道幹線調査会が設置された。つまり、この時点では、「飛鳥」やTSLと同様に、所管省庁の認識や政策の変化等によっては、プロジェクトが変わる危険性を含んでいたことになる。だが、建設着工が決定した後は、国鉄側が設定した技術目標とスケジュールで進められた。この背景には、次の2つの要因が考えられる。まず1つ目は、国鉄という組織である。運輸省は監督官庁の立場にあるものの、国鉄は公共企業体であり、研究開発から建設に至るまで、独自の活動が可能だった。所管する省庁の政策転換の影響を大きく受けた「飛鳥」とは異なり、研究開発から運行に至るまで一貫した体制が構築されていたのである。計画の段階では運輸省側の意見も必要とされたものの、日本国有鉄道幹線調査会の調査に加え、国鉄本社内に設置された幹線調査室の調査でも採算性が確実にとなると、運輸省が介入する場所はなくなっていた。

次に、研究開発主体と運航（運行）主体の密接なコミュニケーションについて見てみよう。東海道本線の需要の逼迫を受け、運行主体である国鉄は、昭和31年に東海道線増強調査会を設置し、新たな輸送手段についての検討に着手した。また、国鉄本社内では、採算性に関する検討も開始された。一方、研究開発主体である鉄道技術研究所では、鉄道の高速化に関する研究が、個人的なレベルから研究所全体へと移行する時期にあった。しかし、新幹線は計画段階に過ぎず、鉄道技術研究所も開発を主導する立場にはないため、両者の認識には多少の相違点が見られた。ところが、昭和33年に、東海道新幹線の建設着工が決定すると、両者は急速に接近し始める。鉄道技術研究所には、新幹線に関する研究を促進するための重点研究班が新たに創設され、全面的な支援体制が整えられた。また、国鉄本社内に設置された新幹線建設基準調査委員会は、研究所が開発中の新技術の中から確実と思われるものだけを取り入れる方針を決定し、研究所に対しては、試験機材の整備等のための新幹線工事費の配布も行われた。そして、建設開始後は、両者の連携体制が構築されたのである。このように研究開発主体と運行主体の良好な関係の構築が可能であった最大の要因は、当然のことながら、鉄道技術研究所が国鉄の付属機関だったことにある。「飛鳥」やTSLでは、研究開発主体と運航主体が全く別の組織であり、実験機や実験船が完成するまで、両者の接点を見出すことは出来なかった。その結果、TSLの研究開発では、研究開発主体である運輸省側が独自に設定した用途と、運航主体である海運会社側の認識に生じた乖離は、修復不可能な段階にまで達していた。また、「飛鳥」でも同様の状況が発生する可能性があった。これに対し新幹線は、運行主体である国鉄が新たな輸送手段の必要性を認識して開始したプロジェクトであり、採算性に関する検討も繰り返し行われた。これに加え、研究開発主体が運行主体の付属機関であるため、鉄道技術協議会や新幹線建設基準調査委員会等の活動を通じて最適な技術を抽出し、その具体化を図る体制の構築が可能であった。研究開発主体が研究開発を行った技術の受け取りを、最終段階で運行主体側が拒否するような状況は、最初からありえなかったのである。

最後に、研究開発主体による輸送システムの構築体制への関与からプロジェクトを見てみよう。東海道新幹線では、橋梁・トンネル・軌道・電気等の工事と、車両・信号等の研究開発が同時に進められた。「飛鳥」のように、輸送システムの構成要

素ごとに所管省庁が異なることはなく、また、TSLのように担当部局が異なることもなかった。しかし、このように輸送システムの構築を同時に進めることが出来た要因は、研究開発から建設、運行までの全てを担うことが可能だった国鉄という組織に加え、鉄道という輸送技術の性格にもあるだろう。同じ輸送技術でも、航空機や船舶は、空港や港湾等の代わりとなる広場や河川・海等があれば、飛行や航行は可能である。そのため、機体や船体だけを製作することも可能であった。これに対し鉄道は、線路（軌道）が欠落すると、それに代替する手段がない。つまり鉄道は、車両と線路（軌道）の両者が結合して初めて機能する技術であり、両者の研究開発と建設の足並みが揃わない事態は、通常では考えられないのである。

以上のように、東海道新幹線のプロジェクトでは、「飛鳥」やTSLにおいて「死の谷」を生じさせた要因が存在しないことが明らかになった。この点を考慮すると、東海道新幹線の成功は、先見性やリーダーシップ、鉄道技術と航空技術の融合だけでなく、国鉄という組織や鉄道という技術の性格も大きな役割を果たしているという指摘も出来るだろう。そして、技術的・経営的にも成功したとされる東海道新幹線では、技術開発に成功したにもかかわらず、実用化に結びつかないという「死の谷」を生じさせる原因が存在しないことが明らかになった。東海道本線の需要の逼迫という問題に対し、運行主体である国鉄と研究開発主体である鉄道技術研究所が協同で出した答えが、東海道新幹線だったのである。そのため、採算性を検討した上で最適な技術を開発し、それを導入することが可能であった。また、鉄道は、車両と線路（軌道）が結合して初めて機能する技術であるため、両者のいずれかが欠落し、輸送システムが未完成になることもなかった。これに加え、監督官庁である運輸省の介入も最小限に留まっており、研究開発・建設への影響も限定的であった。つまり、①研究開発主体を一貫して支える所管省庁、②研究開発主体と運航（運行）主体の密接なコミュニケーション、③研究開発主体による輸送システムの構築体制への関与の3つが完全に解決していたのである。この点を考慮すると、3つを全て解決出来れば、「死の谷」が発生しないという仮説は、有効性を持つと言えよう。

しかし、仮説の有効性が確認できた一方では、研究開発主体と運行主体が事実上同一の組織であり、システムの構成要素の欠落という状況も発生しにくい鉄道技術のようなプロジェクトでは、一度開始されると、高度な政治的判断以外に停止させる装置がないことも明らかになった。この点を考慮すると、国家プロジェクトによる輸送技術の研究開発は、「飛鳥」やTSLで生じたような技術開発に成功したにもかかわらず、意図したような実用化に結びつかないという「死の谷」以外にも、別の問題が存在することが分かる。また、プロジェクトの遂行にあたっては、政治（国会・国会議員等）の関与を、プロジェクトのどの段階から認めるかという点も、慎重に考慮する必要があるだろう。

第6章 結論

本研究は、国家プロジェクトによる輸送技術の研究開発の中で、技術開発には成功したにもかかわらず、意図したような実用化に結びつかないという「死の谷」が

生じた STOL 実験機「飛鳥」と新形式超高速貨物船 TSL のプロジェクトに焦点を当て、その原因を考察してきた。そして、この分析によって得られた仮説を、技術的にも経営的にも成功した東海道新幹線のプロジェクトに当てはめて、その妥当性の検証を試みた。

第2章では、航技研のように対応出来る範囲の限られた組織では、実用化に向けた研究開発を実施することが非常に難しいことが明らかになった。STOL 輸送システムの実用化を前提に、それまでの軽飛行機ではなく、国産最大のジェット輸送機をベースとした実験機を開発したにもかかわらず、研究開発・生産・運航のうち、実際に航技研が対応出来るのは研究開発のみであった。そして、生産を所管する通商産業省、運航を担当する運輸省の政策は、様々な背景によって変化したが、これに対応する術を航技研は持っていなかった。最終的な評価が、技術的な成果の強調に終始した一因は、ここにあると考えられる。

これに加え、同じ省庁が関与しながら、STOL 実験機「飛鳥」とファンジェット・エンジン「FJR710」では、研究開発の性格が全く異なることも判明した。前者は、実用化が最終目標であり、研究開発と同時に、「(開発した技術を)如何に受容させるか」という視点が必要であった。これに対し後者は、技術の確立が主たる目的であったため、研究開発に専念することだけが求められたのである。また、STOL 輸送システムは、STOL 機、滑走路、着陸支援設備 (MLS 等) の3つで構成されたが、この中で実際に航技研が担当出来たのは、STOL 機のみであった。この点を考慮すると、「飛鳥」のプロジェクトは、実用化までの道筋と輸送システム構築の2つの面で問題を抱えていたことになる。

第3章では、TSL 技術研究組合のように、技術開発に特化した組織が、直接、実用化に向けた研究開発を行うことの問題点が明らかになった。造船不況対策の一環として開始されたプロジェクトは、モーダルシフトの流行を受けて、具体的な用途が決定された。しかし、実験船の建造前から、運航コストや船価の問題が指摘されていたにもかかわらず、これを反映する機能を技術研究組合は有していなかった。そして、用途の決定を背景にプロジェクトは急加速を始めたが、これに拍車を掛けたのは、政治 (国会・国会議員) や地方自治体による誘致活動と、途上で実施された検討委員会の調査であった。海運会社側は、TSL に対して懐疑的であったが、検討委員会の役割は、この状況を反映するのではなく、プロジェクトを推進することにあつた。そして、最終的には、問題が未解決のまま、閣議決定を受けたミレニアムプロジェクトによって実用化が決定されたのである。研究開発・生産・運航を一手に所管する行政 (旧運輸省・現国土交通省) が、このように恣意的にプロジェクトを進め、政治 (国会・国会議員等) が支援した結果が、実用化第一船の完成にもかかわらず、海運会社に受け取りを拒否されたという TSL の現状である。

そして、第4章で、「飛鳥」と TSL のプロジェクトを比較すると、技術開発に成功したにもかかわらず、実用化に結びつかないという「死の谷」が生じる要因は、実用化という目標と、実際に研究開発を実施する組織が対応出来る範囲の根本的な相違にあることが明らかになった。具体的には、①研究開発主体を一貫して支える所管省庁、②研究開発主体と運航 (運行) 主体の密接なコミュニケーション、③研

究開発主体による輸送システムの構築体制への関与の3つの点で問題を抱えていたのである。そこで、この3つを全て満足出来れば、「死の谷」が生じないのではないかという仮説を立てた。

第5章では、国家的プロジェクトとして成功と評価されている東海道新幹線を、前述の3つの枠組みから分析することを試みた。その結果、研究開発主体を一貫して支える所管省庁については、運輸省は監督官庁の立場にあるものの、国鉄は公共企業体であり、開発の決定後は、研究開発から建設に至るまで独自の活動が可能であることが明らかになった。しかし、必要になれば、運輸省の支援を得られるという体制も出来ていた。また、研究開発主体と運航（運行）主体の密接なコミュニケーションについては、研究開発主体である鉄道技術研究所が運行主体である国鉄の附属機関であるため、採算性を考慮した上で、最適な技術を選択・抽出し、その具体化を図る体制の構築が可能であることも明らかになった。そして、研究開発主体による輸送システムの構築体制への関与については、車両と線路（軌道）の両者が結合して初めて機能するという鉄道技術の性格により、両者の研究開発と建設の足並みが揃わない事態が生じ難いことも分かった。このように、技術的にも経営的にも成功とされる東海道新幹線では、「死の谷」を生じさせた要因が存在しないことが明らかになった。この点では、前述の仮説の有効性が証明されたことになる。

以上のことから、国家プロジェクトによる輸送技術の研究開発で、技術開発に成功しても実用化に結びつかない状況が生じる原因は、実用化という目標と、研究開発を実施する組織が対応出来る範囲の根本的な相違に起因することが、本研究で明らかになった。従来、このような状況が生じる原因については、「プロジェクトに関与した省庁の政策の相違」や、「政府が実施すると失敗する例が多い」等の通説によって説明がなされてきた。しかし、実際には、技術開発に特化した組織である国立試験研究機関や技術研究組合が、直接、実用化を目指した研究開発を実施すること自体に問題があったことになる。

また、「飛鳥」やTSLのプロジェクトでは、用途や技術目標も、運航主体との接点がないまま独自に設定された。ところが、「飛鳥」では地方都市間を結ぶ通勤ター機という用途が出現し、最近では、TSLを自衛隊の高速輸送艦へ転用という、全く意図していなかった案が浮上している。これは、双方のプロジェクトで計画されていた輸送システムとは、根本的に異なるものである。皮肉なことに、「飛鳥」やTSLのプロジェクトにおいて、実用化を前提に、独自にターゲットを絞り込んだことが、用途の多様性を喪失させ、さらには、TSLのようにプロジェクトを暴走させる原因になった可能性も否定できない。このように実用化が強調される背景には、「実用化を言わないと予算の確保が難しい」という、国家プロジェクトに特有の事情があることも事実である。しかしながら、技術開発に特化した組織であり、対応可能な範囲の限られた国立研究機関や技術研究組合等が実施するプロジェクトでは、実用化という目標が、実用化を遠ざける一因になっていたとも言えるだろう。

近年、研究開発に対する政府の期待は、ますます高まり、その重要性が強調されている。そして、今年度（2006年）から実施された第3期科学技術基本計画では、

「知の大競争時代を先導する科学技術戦略」として、「基礎研究」や「技術革新」等の5項目が挙げられ、成果を社会へ還元することが問われている。しかし、成果のみを追求するあまり、実施する組織の対応能力や、開発する技術の性格が軽んじられるという危険性は否定できない。このように成果を重視する傾向が強まる中で、本研究の結論は、担当組織や技術の性格を考慮して、国家プロジェクトの目標を設定することの重要性を示唆するものである。技術や経済等への波及効果からではなく、問題が発生した個々のプロジェクトを精緻に分析することにより、このような結論は得られるのである。

What Happened to Japan's National Projects in Transportation Technology? : The Cases of STOL and TSL

KAJIKI, Shinya

Abstract:

National projects in Japan have often been successful on technical grounds. But on the grounds of their commercial use, they have often been failures. Because, most of them could not be put in practical use as they had been intended. To illustrate this situation, this thesis takes the cases of STOL or “the Short Take Off and Landing” experimental aircraft, nicknamed *ASUKA*, and a new type high-speed ship, called “Techno Super Liner” (TSL). The thesis also analyzes the cases of a jet engine “FJR 710”, Tokaido Superexpress Train and electric automobiles as comparisons..

The National Aerospace Laboratory (NAL) of the Science and Technology Agency began to develop *ASUKA* in 1975. By the time it made its first successful trial flight in 1985, it has become practically useless as there was no longer any demand for it. The Ministry of Transport (MT) pursued a long term program for lengthening runways or building new airports, beginning in 1967. However, in the meantime, the Ministry of International Trade and Industry (MITI) changed the national policies for developing aircrafts. But, regardless of these new policies, the NAL continued to pursue the project.

The MT's TSL project began in 1989. It was managed by a research consortium appointed by the MT. The TSL proved to be a technically successful project. Its first trial voyage in 1994 was a success. But it was a failure commercially. Even though its high production and operation costs had been known from the start and came to light again after it was completed, the MT decided to go commercial with TSL. But it resulted in utter failure.

This thesis identifies three factors for the failure of these national projects. Firstly there was no mechanism for effective coordination and communication among the concerned ministries and their research consortium. Secondly there was no mechanism for evaluating the value of these projects. Thirdly there were mismatches between the goals of the projects and the capabilities of laboratories and research consortium responsible for developing them.

This thesis has also proposed a method of evaluation of national projects, based on the finding above.

19 世紀における高圧蒸気原動機の発展に関する研究

木本研究室 小林学

第 1 章 序論

蒸気機関の歴史研究は、これまで多くの歴史家、特に技術史家や経済史家や科学史家の興味を駆り立ててきた。技術史研究者は、特に *Transactions of the Newcomen Society* 誌に掲載され続けているような、いわば産業考古学的な研究を中心にする者もあるし、経済史家はアシュトンに代表されるような、産業革命期の蒸気機関が果たした経済的役割についての研究を行った者もある。一方、科学史家は、D・S・L・カードウェル(D.S.L. Cardwell)に代表されるように、蒸気機関の発達が発熱学の成立に及ぼした影響に着目して研究した者もある。技術史家、経済史家、科学史家のそれぞれの研究は、それぞれの目的において、大きな成果を収めてきたと思われる。

しかし、科学史・技術史・経済史を統合してみる視点がこれまでの技術史研究では十分ではないと筆者は考える。技術の発達は、社会的経済的諸条件と自然法則の両方に規定される。その点、蒸気機関の歴史的展開は、社会的経済的諸要因と、熱および蒸気に関する人間の自然科学的知識の蓄積との相互影響を強く受けた初期の典型的事例である。換言すれば、蒸気機関技術の歴史は、社会的経済的諸条件と自然科学的知識体系との関係の歴史であると言えるだろう。

この点に関して言えば、これまでの学説史を中心とした科学史研究では蒸気機関のような科学外部の問題は取り扱うことができなかった。特に、18 世紀末から 19 世紀半ばの熱力学成立までの蒸気機関の発達と熱と蒸気の理論的研究との関係は、よく分かっていない。特にジェームズ・ワット(James Watt, 1736-1819)の分離凝縮器を中心とした一連の特許が失効した以降の 19 世紀初頭、リチャード・トレヴィシック(Richard Trevithick, 1771-1833)が用いたような蒸気圧力 $100\text{psi}(7.03\text{kgf}/\text{cm}^2)$ といった当時の機械製造技術の水準からすれば高い圧力が使われた事実と、当時の熱と蒸気の自然科学的理解との関係については、全くといって良いほど明らかではない。これまでの技術史における一般的理解では、ワット自身は高圧蒸気の使用には反対であったし、また、ワットが 1769 年に取得した蒸気機関に関する特許に抵触することなく(具体的にはワットの分離凝縮器を利用することなく)、ワットの機関の熱効率を超える機関を作ることが困難であった。しかし、1800 年にそのワットの特許が無くなったために、高圧化が始まったとすると考えるのが普通であった。

しかしながら、この見解は、熱力学を知っている後世の歴史家による後知恵ではなかろうか。実際、多くの技術史家は、蒸気機関の高圧化は、研究の

出発点における当然の前提のものとして考えている。つまりワットの特許失効後における蒸気機関の高圧化について、これまでの技術史研究では、十分な説明がなされていないのである。熱力学が成立していない当時は、高圧化(正確には高温化)が熱効率の向上に本質的に重要であるとは思われていなかった。実際、トレヴィシックのような高圧蒸気機関の先駆者たちは、高圧蒸気機関を効率の悪いものと考えていたし、19世紀の最初50年間は、高圧蒸気機関の利点は、必ずしも明らかになってはいなかったのである。また、高圧蒸気機関に関する記録では、7~8気圧という蒸気圧力が使用されており、当時の機械製造技術を考慮すると、この圧力ではかなりの危険があったことは容易に想像できるし、実際に事故も発生している。そういった危険を冒してまで彼らを高圧蒸気機関へと駆り立てたものは、何だったのだろうか。このことについてディキンソン(H.W. Dickinson)は、彼なりの解答(小型化とそれに伴う初期投資の節約)を与えてはいるが、それで十分な説明ができるだろうか。この問題は、これまでの技術史研究では十分に解明されていない。

したがって、ボイラの発達を蒸気圧力の向上を中心として検討していくためには、蒸気機関の高圧化を進めた「最初の一撃」が何であったのかを明らかにする必要がある。そのためには、技術者の高圧蒸気に対する理解を解明することが必要と考える。そこで本論文では、当時の技術者の熱と蒸気に関する考えが、どのようなものであったのかを明らかにする。

熱力学成立の歴史的過程の解明において、科学史研究史上、最も大きな仕事をしたのはカードウェルである。カードウェルはその著書 *From Watt to Clausius* (1971)の中で、蒸気機関の原理に関する理論的考察から熱力学の成立までの歴史を描いた。この著作の中でカードウェルは、19世紀の最初の50年間一すなわち高圧蒸気機関の開発の開始と1850年のクラウジウスによる熱力学の成立まで一における蒸気機関の発達と熱と蒸気の性質に関する理論との相互関係について述べている。しかし、当時の熱素説にもとづく熱理論の説明としては、現代のいわゆる熱力学の成立に関係したところを中心に述べているにとどまっている。カードウェルは、熱力学の成立過程を重視したため、当時の熱素説に基づく熱理論が当時の技術者に及ぼした影響について、あまり考慮していない。

当時の熱と蒸気に関する理解と蒸気機関の展開を考慮するとき、現代の熱力学から判断して間違っているとか正しいとかいうことは可能であるが、あまりに「ウィッグ的歴史解釈」をすれば、当時の実状を正確に判断できなくなろう。当時の技術者が使い得た知識を当時の技術水準で考えることによって、当時の技術者が行った設計の根拠を知ることができるのである。

高圧蒸気機関開発の先駆者であったトレヴィシックやその後のイギリスの技術者の熱と蒸気に関する見解について検討するとき、特に熱物質説が、19世紀以降の蒸気機関の高圧化とその後発展を説明する鍵になると考える。

また、蒸気機関史の先行研究としては、石谷清幹のボイラ史研究について述べないわけにはいかない。石谷は、「次のボイラはどんなボイラか」とい

う具体的問題から出発したが、その研究の深化は、日本における技術論分野の論争を通して行われた。石谷の主張の前提は、蒸気ボイラの発達史を出力の増大の歴史と見ることであった。

まず石谷は、ボイラの形式の変化に着目し、蒸気を除去する方式によってボイラ形式をまるボイラ(浸漬原理)・水管式ボイラ(循環原理)・貫流式ボイラ(貫流原理)に区分した。さらに石谷は、ボイラでいう好適蒸発量範囲は、まるボイラよりも水管式ボイラ、水管式ボイラよりも貫流式ボイラの方が大きいことを指摘し、歴史的にもこの順序で発達してきたことを明らかにした。また、石谷によれば、これらボイラ形式によって、好適蒸発量範囲(動力)と蒸気除去方式(制御)が決定され、ボイラの発達の度合いは、単位出力の大小によって表現される。石谷は、ボイラの根本要因を、量的には「蒸発量」、質的には「蒸気除去方式」の2つとし、この2要因の矛盾によってボイラは発達するとした。そして、これら2つの要因のうち、ボイラ発達を規定する根本要因を、「出力」すなわち蒸発量としたのである。石谷は、動力と制御という矛盾する関係をボイラから蒸気機関、さらに技術一般に拡大して適用し、この「動力と制御の矛盾」を「技術の内的発達法則」として、発展的に一般化したのである。

石谷はまず、『機械の研究』に論文「ボイラの現状と進歩の動向」を発表し(1952年)、ボイラの歴史、現状の火力発電所における動力需要の分析および蒸気の諸性質から起因する各形式のボイラ性能を分析して、次の時代のボイラは、貫流式ボイラであると予言した。その後、雑誌『科学史研究』に一連の論文を発表し、日本における蒸気機関に関する歴史研究に大きな功績を残すと共に、その後の日本の技術史研究にも大きな影響を及ぼしたことは周知の通りである。

石谷が蒸発量に特に着目した理由は、人類が求める動力は常に増大する、という前提にあるとみられる。これら石谷の研究は、言うなれば、出力増大の歴史観であったとも言える。石谷の研究は、日本の戦後復興期・高度経済成長期になされたのであり、当時の社会的経済的影響を強く受けていたと筆者は考えている。実際、石谷が『機械の研究』に投稿した論文では、当時の社会的要請として、動力需要の増大の問題があったことは明らかである。したがって石谷のこのような主張は、当時の社会的状況の中では、一定の意味を持っていたと考えられるが、エネルギー問題が叫ばれる21世紀において、石谷が提起した以外の問題も、つまりボイラや機関などの原動機全体の熱効率の問題もまた社会的に問題となっているといえよう。

そこで、実際に、18世紀から19世紀後半にかけて、主にイギリスでの動力の使用状況を歴史的に観察してみる。すると、出力の量が常に重要視されてきたわけではなく、用途と時代背景によっては、ボイラの初期費用や効率さらに安全性・耐久性といった他の外的要因もボイラ発達に影響を与えてきたことが分かる。それは、ボイラが社会的に利用されるからには、当然の結果である。そして、これらの問題に共通して関係しているのが、ボイラが発

生する蒸気圧力である。石谷がボイラの発達において動力需要のみが主要な要因としたのは、社会的経済的要因を極度に単純化したものと言えるだろう。

次に本論文の課題だが、第 1 に、使用用途による高圧蒸気機関発達の違いを分析することである。19 世紀以降の高圧蒸気機関の展開を一瞥すると、その使用用途によって、まったく異なる道筋をたどることが分かる。19 世紀における蒸気機関の用途としては、揚水用、工場用、船用、蒸気機関車用に大別される。このうち最初に高圧化が進んだのは、揚水用であり、その主な使用先は、金属鉱山地帯のため石炭の価格が高かったコーンウォール地方であった。その次に蒸気機関車用、工場用が続いた。一方、船用は 1860 年頃まで低圧のままであった。

これら使用用途による蒸気機関の発展の違いを分析するためには、石谷の言うような出力といった量的な側面だけではなく、蒸気機関が駆動する機械が必要とする仕事の種類が問題となる。具体的には往復運動なのか回転運動なのか、回転運動であれば、どのぐらいの長さの軸を回転させるのか、回転速度などの問題が関係してくる。

第 2 に、ボイラが実際に使用される際には、単にボイラの性能だけではなく、機関とボイラという蒸気原動機全体の性能としてとらえられる必要がある。つまり、蒸気機関なりボイラなりの歴史を書く場合、その個別的技術の記述だけでは全く不十分で、労働手段体系全体としてとらえる必要があるということである。したがって本論では、駆動する機械を含めた技術体系全体の中で蒸気機関の歴史を分析する。

第 3 に、以上のような機関とボイラといった蒸気原動機を構成する主要部分の相互関係が明らかになるのは、1850 年代の熱力学の成立とその技術者への普及を待たなければならなかった。これまでの学説史を中心とした科学史研究では、蒸気機関の問題といった実際の技術との諸関係は、十分に扱われてこなかった。カードウェルも 19 世紀初頭から 1860 年までの熱素説の発展およびその克服と高圧蒸気機関の個別的な展開については、十分に議論していない。そこで本研究では、高圧蒸気機関への発展を、高圧蒸気機関開発に携わった技術者たちの熱と水蒸気に関する自然学的理解から明らかにする。

第 4 に、熱力学によって高圧蒸気機関の有用性が理論的にも明らかになると、蒸気原動機の中でボイラが占める位置がいつそう重要なものとしてとらえられるようになる。いかにして高圧を発生しうるボイラを製造するか、それが技術者の主な課題となっていく。本論文では高圧蒸気に耐えるボイラの製造がどのようにして達成されたかを明らかにする。

次に本論文の構成について述べる。

第 2 章では、18 世紀の蒸気機関の展開について概観し、ジェームズ・ワット以前の蒸気機関が高圧化できなかった理由と 19 世紀以降における蒸気機関の高圧化の過程を、蒸気機関の用途別に、すなわち、揚水用、工場用、船用、蒸気機関車用について分析する。

第3章では、18世紀末から19世紀初頭にかけて、特にコーンウォールの技術者たちを高圧蒸気機関へ駆り立てた要因について分析する。それは、熱力学成立前の高圧蒸気使用の理由が何であったのかを、当時の熱と水蒸気に関する自然哲学的理解の展開とコーンウォールで高圧蒸気機関開発に携わった技術者たちの見解から明らかにすることで行われる。

第4章では、船用ボイラにおける蒸気圧力の向上を、熱と蒸気に関する理解の深化および機関とボイラとの相互関係の中で解明する。

また、社会的経済的な外的需要に応じる形でボイラが変化するとき、それは単にボイラ単独で発達するわけではない。必要とする動力性能を発揮するために、蒸気原動機全体の性能を勘案して全体の性能が決定される。したがって、蒸気原動機を構成する主要部分をボイラと蒸気機関とみなして、その相互関係を論じる。

さらに、この章では19世紀中頃、熱に関する自然科学的な性格が明らかになり、それから数年をかけて、それが技術者の知るところとなることが述べられる。

熱経済への要求は、蒸気圧力の高圧化なしには達成できないことが、技術者だけではなく企業家にも明らかになる。したがって、いかにして高圧に耐えるボイラを製造するか、それが技術者の課題になった。もはやボイラ蒸気圧力の上昇を妨げるものは、ボイラの強度の問題だけになったのである。

第5章では、陸用定置蒸気機関の高圧化のための技術的諸要因について分析し、ボイラ形式と材料技術との関連について明らかにする。

第6章では、船用蒸気機関の高圧化のための技術的要因について分析し、船用機関への表面復水器の導入過程、3段膨張機関と水管ボイラとボイラへの鋼の利用との関係を明らかにする。

第7章では、以上の歴史的分析を整理し、高圧蒸気機関の歴史的展開過程に関する結論を述べる。

第2章 陸用・船用蒸気機関の作動形態と各用途に対応した機構

陸用の蒸気機関としてまず実用化されたのが、揚水用であった。それがセーバリーの揚水機関である。この機関は、原動機全体のうち何が作業機としての役割を担うのか判別しにくい、導水管と圧力容器がこの機関の動作の中心的部分であることは確実で、ボイラを除く機関のほぼ全ての機関が作業機としての役割を担っていたと考えてよいだろう。言うなれば、セーバリーの揚水機関は、機械を構成する各部分が未分化な状態であった。また、蒸気圧力を使えば使うほど、調子よく動作する機械であった。しかし、当時の機械製造技術では、セーバリーが意図したような圧力を発生させることは不可能であった。一方で、現代の高圧に耐えるボイラがあったとしても、それが主流になったとは考えられない。

セーバリーとほぼ同時期に揚水機関を開発したのがニューコメンである。セーバリーの機関に対し、ニューコメン機関は、それ自体はポンプとしての機能を有していない。ニューコメン機関は、シリンダーとピストンを用いて動力を発生し、その動力はビームと接続棒を通じて、当時鉱山などで一般に使用されてきた吸上式ポンプを駆動する。すなわちニューコメン機関では、作業機と原動機は分離しており、動力は伝達機によって伝達されるのである。また、シリンダーとピストンによる原動機の形式と動力の伝達方式としてビームを採用したことが、ニューコメンが達成した大きな、そして決定的な技術革新であると考えられる。この結果、既存のポンプが使えると共に、大気圧とほぼ同程度の蒸気圧を持つ蒸気で機関に仕事をさせることを可能にし、燃料の消費量や耐久性の面で、社会的に受容可能になったと言える。そして、ニューコメンが実用化したシリンダーとピストンによって構成される原動機の機構は、その後続く全ての蒸気機関の基本的作動原理となったのである。また、このシリンダ・ピストン機構は、今日、内燃機関にまで継承されて使用されており、中規模の出力における基本的形式になるのである。

ワットが蒸気機関の効率改善のために行った分離凝縮器、蒸気ジャケット、膨張作動原理といった一連の改良は、その後の蒸気機関の展開に重大な影響を与えはしたが、作業機と原動機との関係には、何ら影響を及ぼさなかった。それはやはり揚水機関であった。動力機の革新への要求は、イギリス産業革命の進展とともに、工場用動力の不足が深刻化する中で、産業界から強烈に求められる。当時使われていた水車では、工場の立地が川の周辺に限られるし、また、水量は、季節や気候による影響から免れ得ない。資本主義的な生産様式は、このような不確かさを我慢できなかった。蒸気機関はポンプから工場用動力へと変化させるためには、単純な往復運動から回転運動に変更しなくてはならなかった。そのためにワットが考案したものが遊星歯車機構である。現在の視点から見れば、クランクを使用することが最も簡単なのだが、それは 1780 年にジェームズ・ピカードによってすでに取得されていた特許のために使用できなかった。また、死点を超えてシリンダーを動かすためにフライホイールを取り付けた。また、回転を一定にさせるためにピストンは両方向に駆動させる必要があり、蒸気をピストンの両方から吹き込むことにした(複動機関)。そうすると、それまでの揚水用蒸気機関であれば、ピストンを下に引っ張るだけだったので、ポンプに動力を伝導させるにはチェーンで十分であり、ポンプロッドは自重によって下向きに動いたのだが、回転機関のように、上向きにも下向きにも力を発揮させる場合には、チェーンで動力を伝達することは不可能である。そのためにワットは、チェーンの代わりに棒を取り付けることにした。一方、この棒はピストンがある水平面に対し垂直に動かす必要があるが、ビームは支点を中心に円運動をするため、それができない。これを解決するためにワットが考案したのが、平行運動機構である。こういった蒸気機関の機構の変更は、作業機側の需要に対応する形で

実行されたのである。作業機の変更に対応する形で、蒸気機関の形状を変えたのである。

船用蒸気機関の開発に関しては、機関やボイラの性能よりも推進方式が五里霧中の状態で、ジェット推進方式やオールを蒸気機関で駆動する方法などなど、様々なアイデアが試された。しかし、最終的に採用されたのが、外車であった。

船用の蒸気機関やボイラも18世紀末から19世紀初頭にかけて、船用に特化した様々な蒸気機関・ボイラが製造された。特にフルトンによる高圧蒸気機関やサイミントンによる直動機関は注目に値する。しかし、実際に標準的に使用されたのが、ワットのビーム式蒸気機関であり、外車とビーム式機関が長く船用機関の標準となるのである。

蒸気機関車用機関の開発に関しては、狭い軌道の上を走る車体に必要な出力を発揮する機関を設置しなくてはならなかった。小型化と大出力、この二つの目的を達するために採用されたのが高圧蒸気機関であった。

19世紀初期までの蒸気機関が低圧機関であった理由についてだが、1810年頃までは陸用・船用のいずれのボイラにおいても高圧ボイラにどのような構造・材料が必要かは全く手探りの状態であり、様々なボイラが試されたが失敗に終わっている。従来ワット型の機関・ボイラが陸用船用を問わず、実用上唯一可能な蒸気機関であった。

しかし、1810年以降、陸用ではコーンウォール機関と呼ばれる高圧揚水機関が使用され始める。この機関のサイクルは、ワット機関と基本的には同じであったが、パドル鉄製のコーニッシュ・ボイラを用いることで高圧蒸気の使用を可能にしたのである。

また、高圧蒸気を揚水機関で使用できた理由は、吸い上げ式のポンプでは、必要とする揚程に合わせて、出力を容易に変更し得た。また、ビーム機関に使われていた鑄鉄製ビームは、安全率が過度に余計に取られていたので、当時の蒸気圧力ぐらいの負荷に対してはまず壊れることは考えられなかった。

一方、工場用機関や船用機関は、伝動軸なり外車なりスクリーを駆動するために、長い軸を回転させなくてはならない。だから、あまり大きな蒸気圧力を使うと回転軸や軸受に多大な負荷がかかる。こういった回転機関に対し高圧蒸気を用いる一連の技術的困難を克服するには、しばらく時間がかかった。

蒸気機関車用機関は、一般に復水器を用いず、その分熱効率を犠牲にしたが、復水器を用いない高圧機関のメリットは、機関の小ささ、構造の単純さ、移動の容易さであり、ワット機関から復水器なしの高圧機関への転換によって、蒸気機関車は誕生したのである。なお、機関車も当然回転部を持ち、車軸と軸受の強度の問題もあったと思われるが、その分析は今後の課題としておきたい。また、機関車の車輪の釣り合わせについては問題が起こったが、これは車輪のような円板状ローターだけが対象であり、工場用機関の伝動軸のような大きな問題とはならなかったと思われる。

以上のように、大気圧機関から高圧蒸気機関への展開は、何を駆動するかという用途に応じた作業機の形態や関連する手段技術体系全体の構成との関連で、蒸気機関の形態が規定されている。したがって、蒸気機関の展開を分析するには、関連する技術体系全体を考慮に入れて分析しなくてはならない。

しかしながら、19 世紀を通じて蒸気原動機全体としては、大出力化とともに高圧化がなされ、2 段膨張機関の採用がなされる。ただ、これらの展開の背景として、必ずしも熱力学の理解があったわけではない。次の章では、技術者における熱力学の成立前の熱と蒸気の理論的展開について検討する。

第 3 章 高圧機関への展望と限界

—水車の理論から熱素説にもとづく蒸気機関の理論へ

高圧蒸気機関への契機を見てみると、その発達には、蒸気機関車用機関を除けば、大まかに二つの源流があった。その一つは、石炭価格が高かったコーンウォール地方において製造された陸用揚水機関である。この機関は、この地方の名前にちなんで、コーンウォール機関と呼ばれた。これらの機関を製造した技術者たちは、試行錯誤や彼らが独自に持っていた知識を使って、蒸気機関を製造していた。ただ、それらは今日の熱力学からすれば、不完全であったり、間違っていたりしたが、彼らが高圧蒸気機関を製造する上での一つの契機になり、そして当時の「理論」以上の熱効率を達成したのである。

もう一つの流れは、蒸気機関の動作を鋭い洞察力によって考察した人たちによってなされ、その最初の人がジェームズ・ワットであった。彼は高圧蒸気の使用には反対であったが、彼が考案した膨張作動原理は、蒸気を膨張させて仕事させることであり、高圧蒸気機関の事実上の出発点になったことは確実である。ワット自身は、科学的洞察と実際の蒸気機関の建造・運転との現場をうまく取り持った。しかし、ジョン・ロビソンを含め多くの自然哲学者と技術者は、ワットが持っていた理論的側面を重視したように思われる。

18 世紀、水車が発揮すべき最大効率という実際の技術に関する研究から、水のような物体の移動から仕事を得的研究、すなわちエネルギーの転換に関する研究が始まった。しかし、水車は、水の水速度エネルギーと位置エネルギーを力学的エネルギーに転換するだけであった。当時の水車は、水の水位置エネルギーを圧力という形で動力に転換することはできなかったのである。

トリチェリに始まる容器の底から流出する水流速度の問題は、ダニエル・ベルヌーイによってその証明がなされた。ベルヌーイの成果が、実地の水力技術にどのような影響を及ぼしたかについての詳細は、現状では明らかではなく、それは今後の課題としておきたい。ただ 18 世紀も後半になると、水圧を利用する水力機関として水柱機関が製造・使用される。トレヴィシックらも水柱機関を作り、イギリス・コーンウォール地方で利用された。高圧蒸

気の使用についてのアイデアが、水柱機関からのアナロジーから始まったことは、カードウェルによって指摘されている。

18世紀末から19初頭にかけて、熱を不可秤量流体として考える熱素説が確立する。蒸気機関の理論的考察は、水車のアナロジーから出発し、蒸気圧力と水圧との関係に類似点を見いだした。すなわち、すなわち、水のポテンシャルエネルギーは、水位が高いほど大きい。蒸気の持つポテンシャルエネルギーも熱素の量が大きいほど大きいと思念された。こうして19世紀初頭、ワットの特許が失効して以降、トレヴィシックによって7~9atmに達するような高圧蒸気を使用されるようになる。こうした高圧蒸気機関の有用性を強力に主張したのが、デービス・ギルバートである。彼は、ジョナサン・ホーンブローヤリチャード・トレヴィシックと交友関係を持ち、彼らに高圧蒸気機関の有用性を積極的に説明し、仕事を進める上でアドバイスをし、彼らの発明を励まし続けた。ギルバートが行った蒸気の断熱膨張の際に発揮する仕事の計算は、ダニエル・ベルヌーイが空気の圧縮に使った活力の計算の方法と形式的には、ほぼ同じことが分かっている。また、ギルバートによる膨張作動原理は、すでにワットによって1769年と1782年に提唱されていた。彼らは断熱膨張過程でもボイルの法則が成り立つとしており、その前提は間違っている。この時の熱素説に基づく熱理論は、水力機関とのアナロジーに基づいた素朴なものであった。ただ、この段階では、「熱素説」に基づいた熱理論は、高圧蒸気機関の有用性を説明していた。

しかし、水柱機関のアナロジーを蒸気機関へ厳密に適用することには、いくつもの困難がある。特に水は圧縮・膨張できないのに対し、蒸気は圧縮・膨張して使うことができる。したがって、当時、蒸気機関の効率を水力機関とのアナロジーによって考察する場合は、圧力の問題、特に蒸気を閉めきった後の蒸気の振る舞いをうまく取り扱うことができなかった。

18世紀初頭、蒸気機関に関する理論的研究には限界があったが、1820年代以降、コーンウォール地方の技術者たちの経験によって、高圧機関が熱効率の改善に大きな影響を及ぼすと考えられるようになっていった。それらはリーンによるエンジン・レポートなどに見られるコーンウォールの技術者たちの努力の賜であった。

1810年代、種々の科学的実験によって、各気体の比熱測定が進み、熱素説は洗練された。特にフランスでは、イギリスから渡航したエドワード・ハンフリーによる高圧2段膨張機関の製造、およびアシェット、クレマン、デゾルムによる高圧蒸気機関の研究が行われ、フランスでは高圧蒸気機関の理論的考察に大きな一歩が踏み出された。その蒸気機関の理論の基礎とは、「ワットの法則」と全熱量(total heat)の原理である。これらの法則によると、飽和蒸気の持つ熱量は常に同じであるということになる。ところが、高圧蒸気であろうが低圧蒸気であろうが、同じ重量である限り熱素の量が一定であるので、蒸気の潜在的動力はどんな蒸気であろうが同じになってしまう。実際、熱素説も「ワットの法則」も今日の熱力学では間違いであり、この定量化さ

れた熱素説による蒸気機関の理論は、高圧蒸気機関の優れた熱効率を説明することができなくなっていた。

これらの研究を受けて、サディ・カルノー(Nicolas Leonard Sadi Carnot, 1796-1832)は 1824 年に『火の動力についての考察』を著し、初めて高温化による熱効率の向上が熱力学的に明らかにした。しかし、これはあまりに先駆的でありすぎたことは周知の通りである。発表当初はほとんど目もくられず、実践に走るイギリスの技術者たちはカルノーの仕事を目にすることはなかったし、フランスの科学界からも無視された。しかし、カルノーの定理が示す熱機関の本質的性格は極めて重要で、高圧化というのは、単にピストンを押す力の増加にあるわけではなく、高温化による熱効率の向上に本質的意義があるのである。しかし、カルノーは熱素説に基づいて理論を展開したのであり、彼は結論においてそのほとんどは正しかったが、前提とした根拠は正しくなく、その成果もある限界があった。

これら一連の経過をまとめると次のように言えるだろう。熱素説の成立が技術者に高圧蒸気機関への大きな希望を与え、熱素説のさらなる発展が、高圧蒸気機関へ希望を失望に変えたのだと。

一方、膨張作動原理の適用と蒸気圧力の上昇とともに技術上深刻な問題が、技術者の前に立ちはだかる。その問題は、水蒸気が断熱変化する際の挙動に関する問題である。それは、勃興しつつあった船舶用蒸気原動機の分野で特に顕著であり、そして、また熱力学の成果を適用した船用蒸気原動機において克服されたのである。

第 4 章 船用ボイラの展開と船用 2 段膨張機関の開発

高圧蒸気機関の採用が最も遅れたのは船用蒸気原動機であった。実際の船用蒸気原動機は、限られた船体内に機関・ボイラその他の付属物一切を詰め込まなくてはならず、洗練された設計・高度な加工・製造技術が必要であった。それに、海水をボイラ水に使用する以上、腐食どのように防止するかも技術者の課題であった。また、外車もしくはスクリューを駆動するためには、長い軸を回転させなくてはならない。だからあまりに高い蒸気圧力は、伝達軸に過大な荷重をかけるし、軸受を加熱する危険がある。こういった揚水用などの陸用機関には無い特殊性のため、船用蒸気原動機には、自然科学的知識の適用は不可欠であったと考えられる。また、船用蒸気原動機における高圧機関の不利を正当化するのに、熱素説に基づく熱理論は、よく適合していた。

以上のような船用に特殊な条件は、船用に特化した蒸気原動機として独自の発展を遂げた。19 世紀半ばまでの船用蒸気原動機は、箱形ボイラとサイド・レバー機関のような低圧機関が主流であったのである。それは、限られた船底のスペースに船舶を動かすだけの能力を持つ機関とボイラを設置するとともに、海水をボイラ水に使うという船舶用に特化したものであった。

一方で、19世紀半ばまで熱素説や「ワットの法則」といった、現在から見れば間違った理論が、蒸気機関の性能を考察する際に利用され、これら誤った理論を基づいて蒸気機関の効率が考えられたため、イギリスでは、船舶用として高圧機関は、効率の悪いものと考える意見が主流を占めた。船舶の燃料消費量の問題は、原動機の改良よりも先に、鉄製船体の導入といった船体構造の改良や外車からスクリューへの推進方式の改良によってなされた。

しかし、19世紀中頃、船舶の原動機は、航海範囲が拡大するという使用環境に直面する。ここでは、より熱効率の高い機関を必要とされた。一方、熱素説と「ワットの法則」は、熱の理論の黎明期においては、熱を定量的に扱う上で一定の成果をあげたが、実際の蒸気機関という個別的技術への適用では、あるクリティカルな問題が表面化した。それは飽和水蒸気の断熱変化の問題である。すなわち、膨張作動原理と呼ばれるボイラからの蒸気を締め切った後の蒸気の挙動に関する問題で、蒸気がシリンダー内で断熱膨張した際に起こる復水である。これを初期復水と呼ぶ。熱素説によれば、体積増大に伴って起こる温度低下によって失われたかのように見える熱は、なお「膨張の潜熱」としてシリンダー内にとどまっていなければならない。熱素説とワットの法則によれば、完全に断熱されたシリンダーであれば、このような復水は起こるはずがない。しかし、実際、蒸気を断熱膨張させればシリンダーからは大量の水が出てくる。当時この原因は、ボイラからの蒸気内に水滴が混入しているためなどと説明されていた。しかし、この現象の原因は、熱と仕事との等価関係を示す熱力学第一法則によれば、飽和蒸気が断熱膨張をする際に、熱が仕事として消費のためと説明される。すなわち、飽和水蒸気が断熱膨張する際の復水の原因を理解するためには、熱と仕事が相互に転換するという熱力学第一法則の理解が不可欠なのである。しかし、熱素説では熱量は保存されるので、初期復水の問題に熱素説は全く無力であった。この問題は、18世紀末から重大な問題となる可能性があったが、蒸気圧力が低かったために、大した問題とならなかつたのである。この問題は、蒸気機関の効率を水力機関とのアナロジーによって考察する限り、必ずつきまとうものであった。この熱素説に基づいた蒸気機関の理論はもはや、高圧蒸気機関の高効率を説明できなかつた。

一方、熱力学第一法則は、蒸気機関とは離れたところで模索されていた。1849年、ジュールは王立協会に「熱の仕事当量について」を発表する。ジュールによって熱と仕事との等価関係が定量的に明らかにされたが、イギリスの技術者は、ジュールの仕事にすぐには影響を受けなかつた。

さらに、ジュールの業績とカルノーの業績を取り入れた形で、ルドルフ・クラウジウス(Rudolf Julius Emmanuel Clausius, 1822-88)が熱力学第二法則を定式化し、ウィリアム・トムソン(William Thomson, 1824-1907後のケルビン卿, Baron Kelvin of Largs)は、それを発展させた。こういった熱力学の成果が実際の蒸気機関の製造に応用されるのは、船舶の原動機の改良を通してであった。それに先鞭をつけたのが、スコットランドの船舶の技術者たちであり、

ウィリアム・ジョン・マックウォーン・ランキン(William John Macquorn Rankine, 1820-72)が理論の面からその技術革新を支えた。すなわち、ランキンは、スコットランドを舞台に船舶の技術者ジョン・エルダー(John Elder, 1824-1869)とジョン・マーチン・ローワン(John Martin Rowan)に技術指導を行った。特にエルダーの2段膨張機関の導入とその改良は特筆すべきもので、前述の初期復水を解決に大きな成果をあげたのである。初期復水を防ぐためには、すなわち蒸気が仕事をした後も飽和状態を保ち続けるためには、蒸気が外部に仕事をした分だけ、またはそれ以上に熱を加えなければならないのであり、そのためにエルダーが採用したのが蒸気ジャケットであった。エルダーはこうして初期復水を解決し、さらに円筒形ボイラを導入して船用高圧蒸気機関を実現した。また、ローワンは、船用2段膨張機関と表面復水器と水管ボイラを導入し、当時としては非常に高い蒸気圧力を発揮させた。このように19世紀中頃、スコットランドを中心にランキンと船舶の技術者によって、蒸気機関に熱力学の成果が適用されたのである。エルダーの一連の成果は、多段膨張機関と円筒形ボイラの使用という意味で、19世紀末まで継続的に続く高圧蒸気機関の最初であったのであり、また、熱力学を適用したという意味では、今日まで継続的に続く高圧蒸気機関の嚆矢であったと言える。こうして、熱力学による裏付けもあって高圧蒸気機関への方向性がよりはっきりした形で確定し、ボイラの高圧化への指向が高まった。

それまでは、船用蒸気原動機としては箱形ボイラと低圧機関が一般的に使用されており、陸用で一般的に利用された円筒形ボイラは、船用としては一般的ではなかった。箱形ボイラと円筒形ボイラとを比較すると、ボイラ単独では、ボイラ効率・蒸発量のいずれも箱形ボイラは円筒形ボイラを上回っていた。しかし、熱力学によって高圧蒸気の利点がはっきりすると、ボイラと機関を合わせた原動機全体でその性能を考えるようになったと思われる。実際に、毎時毎回時馬力当たりの石炭消費量において、箱形ボイラ+低圧機関より円筒形ボイラ+高圧機関の方が上回ったのである。こうして高圧蒸気の利点が明らかになり、また、船舶の動力需要の増大もあって船用蒸気機関における円筒形ボイラと高圧機関は次第に普及していった。

以上、19世紀の船用蒸気ボイラ形式の変遷過程について検討してきたが、最後に本章の結論を述べる。

燃料消費量の制限といった社会的経済的条件・要求によって、機関の革新的な変更が必要となった。そして、機関の革新と熱力学の理解の深化の結果、ボイラの改良を通じて蒸気原動機全体の性能を改善する必要が技術者によって認識されたのであって、決して機関の改良より先にボイラの改良がなされたわけではなかった。

このように船用推進技術全体の発達にとっては、ボイラよりも機関がより主導的役割を担っていたと言える。その理由は、プロペラもしくは外輪を動かして船の推進力を発生するのは、機関であってボイラではないからである。

以上のように、船用ボイラ史は、機関とボイラと推進手段との関係の歴史であると言えるであろう。「機関」を外的要因として切り離してみる石谷の単純化された内的発展論に基づくボイラ史は、この複雑な歴史過程を説明し得ないし、他方、技術の内的論理を考慮しない社会構成主義者は、このような発達過程を理解することはできない。

第5章 陸用定置蒸気機関高圧化への技術的諸問題

高圧蒸気機関を実際に製造する際に問題となったのは、内圧に耐えうるボイラの製造技である。本章では、ボイラの耐圧性能の変遷を技術的に分析する。

19世紀以降、ボイラは、ボイラ形状と使用材料および加工技術との関係で耐圧性能が増していった。形状に関しては、トレヴィシックを初めとするコーンウォールの技術者たちは、高圧機関開発の比較的初期の段階から円筒形のボイラを製作しており、球形もしくは円筒形が内圧に耐えるというボイラの目的に対して相応しい方法だと気がついていたように思われる。彼らが行っていた蒸気ボイラの改良は、試行錯誤による経験に基づくものであった。

使用材料に関しては、18世紀末には錬鉄がボイラに使用されていたが、19世紀の高圧ボイラ用としては鑄鉄が使用される。錬鉄はもっぱらパドル法によって製造されていたが、人間が手作業でこね回すというパドル法独特の製造方法のために、その製品である棒鉄の大きさは、人間が発揮できる動力に依存していた。ボイラ製造のためには、これら棒鉄から製造される鉄板を多数のリベットで接合しなくてはならず、この接合部の処理が圧力容器として錬鉄をする際に大きな弱点となる。一方、鑄鉄は融点が低く鑄造することで継ぎ目のない円筒形容器を作ることが可能なのであった。こういった理由が、ボイラ材として鑄鉄を利用した最大の理由だと考えられる。しかし、鑄鉄はそもそも引張強度が錬鉄と比べ弱かったため、内圧による引張力や不均一な熱にさらされるボイラ材としては不適であったし、また、致命的な破損をもたらす鑄鉄中の欠陥を見つける方法などなかったのである。いくつかの悲惨な事故の末、1812年頃から錬鉄が使用され始める。しかし、錬鉄をボイラ材に使用する場合、ボイラの継ぎ目をどうやって処理するかは、その後、しばらく重大な問題であり続けた。このボイラ用錬鉄の接合の問題は、ウィリアム・フェアベアン(William Fairbairn, 1789-1874)やダニエル・アダムソン(Daniel Adamson, 1820-1890)らによって改良がなされた。しかし、こういった材料や接合部の変更によるボイラ強度の改良は、ボイラ形状の変更に伴う強度改善と比べれば漸進的なものであった。

1854年、ヘンリー・ベッセマー(Henry Bessemer, 1813-1898)によって新しい製鋼法である転炉法が発明される。ベッセマーは、そもそも大砲材を製造することを目的に、この転炉法を発明したのであるが、イギリスの軍部はベッセマーを相手にしなかった。これを最初に使用したのが、フェアベアンや

アダムソンらの民間のボイラ製造業者であった。彼らは、ボイラをより安く、より安全に、より高圧に耐えるようにするためにベッセマーの新しい鋼を採用したのである。しかし、陸用ボイラにおける鋼の使用もまた、ボイラ形状の改良と比べれば漸進的な強度の改善であった。

以上のようなボイラ強度における形状と材料および加工技術との関係を整理すると、次のようなことが言える。まず、強度上優れた新材料がすぐに古い材料に取って代わるわけではないということである。その理由は、新材料は加工技術が未熟である場合が多く、その機能を十分に発揮できるような形に加工できないためである。次に材料のコストと入手のしやすさの問題がある。しかし、蒸気ボイラは技術全体の中で発展する方向が規定されるのであり、ボイラは大出力化、高温・高圧力化、高効率化が進むのであって、それに伴って材料技術は新素材の開発と素材の加工技術が相互に関連しながら発展するのである。

次に、蒸気ボイラの性能（圧力・温度・蒸発量）の発展にとっては、形式の変化（例えばワゴン型から円筒形、さらに円筒形から水管型）が主導的であり、材料の変化は副次的である。あるボイラ形式はその初期（本論でいえば円筒形ボイラの場合）には、材料と加工技術の未熟からその機能を十分に果たすことができないが、次第に材料的改良がなされ性能が向上する。しかし、その漸次的変化では需要に答えきれなくなったとき、全く異なった形式への変化が起こるのである。

次に、材料技術の変化は、その形式（例えば円筒形とか水管型など）の中における性能（蒸気ボイラの場合、蒸発量・圧力・温度）の発展にとって非常に重要であり、その形式が本来持っている性能を十分に発揮するために必要なものなのである。しかし、材料に関することは、開発の当初においては十分に考慮されない、もしくは、配慮が十分であるとは言い難い。その理由は、最初に特定の作業のために（例えば、耐圧性能を高めるために、また、コンパクトなボイラでも蒸発量を保持するために）機械や装置が限定され、それを実現するような個々の具体的な技術（本論で言えば、外殻が円筒形で内部炉筒を持つボイラ）が決定されるためである。その際、材料は実は非常に重要なファクターであるにも関わらず、個々の具体的な機械・装置の機能やメカニズムの設計と比べて、遅れて問題となるからである。

第 6 章 船用蒸気機関高圧化への技術的諸問題

船用ボイラにおいては、19 世紀中頃まで、陸用ほどの高圧蒸気は使用されていなかった。高圧蒸気使用の高効率は、経験的には陸用機関で実証されてはいた。しかし、理論的に人々が高圧蒸気の利点を理解するまでは、船用において積極的に高圧化を進める原動力にはなり得なかった。この点、陸用と船用とのボイラ技術発達形態の違いとして、認められる。

しかし、熱力学の普及により、高圧蒸気の有効性ははっきりと認識されるようになると、企業家はより燃料消費量の少ない船用エンジンを求めて蒸気機関の高圧化を求めるようになる。こういった要求の高まりと共に、表面復水器を始めとしたボイラ水に純水を使うための一連の改良がなされ、同時にボイラの耐圧性能向上もなされたのであった。表面復水器の発明は、1834年サミュエル・ホール(Samuel Hall, 1781-1863)によるが、当時の機械製造技術では実用上の困難がいくつかあり、実際に表面復水器が普及するのは、19世紀後半であった。

ボイラ強度における形式と材料の問題として、船用ボイラの展開は、ある興味深い事例を提供している。それは、19世紀後半の3段膨張機関の導入に関する事例である。1874年リバプールの船主ディクソンは、燃料の経済性をよくするためには高圧の蒸気を用いる必要があると確信する。そして彼は、ローワンの水管ボイラを自身の蒸気船プロポンティス号に搭載することを決意した。機関とボイラの製造を受けたジョン・エルダー社のアレクサンダー・カーニー・カーク(Alexander Carnegie Kirk, 1830-1892)は、機関として3段膨張方式を採用することにした。しかし、この水管ボイラは、2度のボイラ事故を起こし、通常の間筒形ボイラに交換されてしまったのである。

1878年に船用間筒形ボイラに平炉鋼が採用される。この鋼製ボイラによって蒸気圧力の向上が可能になり、船用3段膨張機関として水管ボイラではなく、鋼製間筒形ボイラが使用されることになった。この3段膨張機関と鋼製間筒形ボイラは、残りの19世紀を通じて船用機関の標準として使用されたのであり、往復動蒸気機関は完成を見たのである。

一般には、ボイラ強度に関してボイラ形式の変更が材料の改良よりも決定的である。しかし、安全性・効率といった社会的経済的要求に対し、それに対応したボイラ形式がすぐに実現できるとは限らなかった。水管ボイラのように、通常新しい形式の技術は、より高度な材料や製作技術を必要とするのである。その意味で材料技術・機械製作技術は、新技術の物質的土台として機能していたと言えよう。

また、以上のように、ボイラの発達にとっては、石谷の言うような、動力需要の増大だけではなく、安全性や燃料の経済性といった様々な要因によって、また、陸用・船用といった技術を取り巻く環境によっても、技術の発達形態が規定されることになる。

第7章 結論

17世紀末から始まった蒸気機関の開発は、18世紀には鉱山の揚水用からやがて工場用の原動機という用途を見出し、19世紀には高圧蒸気を使用する段階に入った。この発展過程、特に高圧蒸気機関としての発展過程を分析してみると、従来、着目されていなかったいくつかの発展の特質をあげることができる。

第一に、蒸気機関は揚水用・蒸気機関車用・工場用・船用に大別でき、この順で高圧化してきた。こういった 19 世紀以降の高圧蒸気機関の開発過程は、何を動かすかというその用途目的の労働手段との関係で規定されていた。具体的には、最初の高圧機関はピーム機関を使った揚水用に限定されていた。1820 年以降は、蒸気機関車が、続いて工場用が高圧化した。船用は 1850 年代末から 60 年代初頭ごろまで低圧であった。

第二に、蒸気原動機の展開は、機関やボイラ単独の性能だけではなく、機関とボイラを含めた蒸気原動機全体の性能が考慮されることもあった。

第三に、19 世紀初頭の高圧機関の高効率は、経験的に分かったというべきであって、理論的にはほとんど何も理解されていなかった。ただ、技術者は、熱に関する自然科学的理解無しに、高圧蒸気機関を設計・製造したわけではなかった。一部の技術者は、熱素説をもとに高圧蒸気の利点を考えていたのである。後に熱素説は、飽和蒸気が保持する熱量が常に一定だとする「ワットの法則」と共に蒸気機関の理論として使用されたが、それは高圧蒸気の利点を説明しなかった。熱と蒸気に関する科学的実験は、先進的な技術者に少なからず影響を与え、19 世紀の半ばまでに、高圧蒸気不要論がある一定の支持を得た。

1850 年代後半、蒸気機関に熱力学を適用することは、船用機関に始まった。これを担ったのは、グラスゴーの技術者たちとランキンであり、これらの結合を実現したのが、グラスゴーという都市が当時おかれた社会的経済的地理的な要因である。

第四に、その後、高圧機関の開発を支えたのが、主にボイラの耐圧性能の向上であり、その改良は機械加工技術の改良と鋼の使用などによって達成されたということである。

最後に、本研究で蒸気機関の発達過程を分析した結果は、上述のように蒸気機関のあり方は、具体的な使用目的や作業機などの他の労働手段の状況によって左右されることが分かった。このことは、石谷清幹の「動力と制御の矛盾」説にもとづくボイラ史の記述では、具体的な歴史は記述されないということである。ただし、「動力と制御」そのものについての議論は、本論とは特に関係がないので、ここでは言及しない。

石谷のボイラ史は、蒸発量に着目した議論に集約されたものと見るができる。ところが、実際にボイラの開発過程を分析してみると、ボイラの開発要因は蒸発量だけに左右されてはいない。実際には、18 世紀から 19 世紀半ばまで蒸気原動機全体の中でボイラが占める位置は、大きくなかった。19 世紀半ば以降、熱力学の成立とその普及の後、蒸気原動機の中でボイラもまた重要な役割を担うとことが明らかになり、そしてボイラと機関を含めた蒸気原動機全体としての性能が重要になったのであり、その結果、高圧化が単に大出力という目的だけではなく、高効率という目的に対しても有効であるということが理論的に明らかにされるのである。

もちろん、歴史記述では具体的な個々の発達過程を明らかにすることとともに、その具体性を貫く一般的な傾向の有無を追求することも歴史研究上必要なことである。その点では、石谷のボイラ発展史は、歴史における一般的な傾向を追求する試みであったと認めることができる。

本論文で明らかになったのは、個々の蒸気機関の展開を個別的に見れば、使用用途といった外的要因と結合して蒸気原動機が多様な形で展開しているということである。しかし、同時に、蒸気原動機技術の発達には、「出力」と共に「効率」の問題が関わっていると認められる。すなわち、出力と効率の問題が、個々の蒸気機関の展開において、あるときは同時に問題になるときもあれば、また、あるときは、その一つだけが強く働いて、蒸気機関の発展を促すときがあるということである。

A Study of the Development of the High Pressure Steam Engine in the 19th Century

KOBAYASHI, Manabu

Abstract:

Most of previous studies of the history of the steam engine presupposed a straight forward transition from a low-pressure steam engine to a high-pressure steam engine in 19th century. But this assumption is simplistic. The development of the steam engine was more complicated.

In terms of work which steam engines performed, there were four types of steam engines: pumping engines, rotative engines for mills, locomotive engines and marine engines. Central to this grouping is the kind of machine that a steam engine drove. In other words, the type of a steam engine depended on its functions.

This thesis also highlights the impact of scientific knowledge of heat on the development of the steam engine. The invention of the steam engine was not based on any scientific theory. The theory of the steam engine in the early part of the 19th century was based on the so-called caloric theory. The analogy of comparing the water engine to the steam engine is likely to have been the origin of the high-pressure steam engine. The caloric theory and the analogy of water engine indicated the usefulness of the high pressure steam engine.

But the caloric theory had its limits. Therefore, British engineers especially marine engineers also adopted what was known as “Watt’s law.” “Watt’s law” indicated that “saturated steam will remain saturated whenever it is compressed or expanded mechanically in such a way that there is no loss of heat.” But in fact, saturated steam expanded adiabatically in the cylinder cannot keep saturated, it is condensed into water. Generally, this condensation was called initial condensation. This caused a loss in heat. Even this sophisticated caloric theory could no longer explain the efficiency of the high-pressure steam engine.

Shipbuilding companies especially Glasgow began to demand a more efficient steam engine in the mid 19th century. The adoption of the new marine compound engine was also helped by the laws of thermodynamics. Especially, John Elder who was a Scottish engineer made a new marine compound engine with a steam jacket and high pressure steam. William John Macquorn Rankine who was a professor of the University of Glasgow led this effort.

This thesis also considers that the mechanism of the development of the steam engine depended not only on socio-economic conditions such as demand for more efficient engines by shipbuilders, support of universities and so on, but also on the technology’s own internal dynamics such as the whole performance of a steam

engine which was determined by the relationship between a boiler and an engine. The demand for more power and efficiency played a crucial role in the development of the steam engine in the long term. Many engineers recognized that the high-pressure steam improved the thermal efficiency of the steam engine. To use high-pressure steam, the engine entailed a strongly build boiler.

In resisting high-pressure, the shape of boiler was the most crucial factor. A change in shape, for instance from box to cylindrical, made great difference in boilers' resistance to pressure. In addition, improving some machinery to process wrought iron such as the rolling machine, the steam hammer, the riveting machine and introducing steel to boilers led to an incremental improvement of the strength of boilers.

As shown above, this study offers a comprehensive system of the development of the steam engine, focusing on engine's own dynamics, external factors such as fuel consumption and role of scientific theories such as thermodynamics.

本溪鋼鐵公司の生産構造の形成に関する歴史的研究 —日本から中国へ継承された一企業の事例—

木本研究室 木場篤彦

1. 先行研究と研究課題の設定

近年、中国産業の形成過程に関する社会的関心が急速に高まっている。なかでも、重視され始めたのが、日本が「満洲」に建設した重工業である。しかしながら、日中戦争および国共内戦という激動の時代を経過していたことが、長年にわたって、この分野での歴史研究を困難にさせていた。このような研究史上の課題を踏まえつつ、新中国の建国初期における産業の形成過程を、実例から明らかにしようというのが、本研究のはじまりである。

本研究の対象となる本溪鋼鐵公司（以下、公司）は、日本の大倉財閥が 1906 年に設立した本溪湖煤鉄公司を前身とする、世界でも有数の銑鋼一貫製鉄企業である。1940 年代前半においては、公司は、中国大陸全体のなかで、昭和製鋼所に次ぐ地位にあった。公司については、近年いくつかの論文、著作が出されていることを踏まえ、本論文では、特に公司の生産構造¹の歴史の変遷過程について明らかにしようと考えた。公司の産業構造の歴史的な形成過程を整理し、背後にある社会的要因、技術開発との相関を検証することによって、日本の製鉄業の歴史的発展形態の一側面を明らかにすることができる。

公司および「満洲」の産業を対象とした研究史の源流は、20 世紀初頭まで遡ることができる。この時期の研究は、日本が、「満洲」および北東アジア全域における鉱物資源を国策的に利用するという観点から、公司や昭和製鋼所を含めた中国大陸における重工業発達の歴史を調査した研究論文や著書が出されていた²。1950 年代に入って、新中国の驚異的な経済成長が衆人の耳目を集めるようになったときに、幾つかの研究論文が出された³。だが、それらは中国東北地

¹ 生産構造とは、個々の生産工程を包括して、公司の生産工程全体を系統的に捉えるものである。これまでの鉄鋼業の研究で、生産構造という言葉を用いたのは、堀切善雄と岡本博公である。堀切は、「生産技術の展開状況を科学的に分析することこそ、その発展の実態の解明を可能とするのである」（堀切善夫『日本鉄鋼業史研究—鉄鋼生産構造の分析を中心として—』早稲田大学出版部、1987.3、序文）として、従来の経済史や技術史に方法論そのものの議論がなかったことを批判している。

² 今井文平「本溪湖製鉄事業概要」『鉄と鋼』第 2 年 第 2 号、1917、10-23 頁。商辨本溪湖煤鉄公司編『本溪湖煤鉄有限公司事業概要』1919。本溪湖煤鉄公司編『本溪湖煤鉄有限公司事業概要』内部出版、1928。商辨本溪湖煤鉄公司編『本溪湖純銑鉄の発達と是が将来』内部出版、1934.2。関東都督府陸軍部編『満蒙産業誌』民友社、1916。信夫淳平『満蒙特殊権益論』日本評論社、1932。など

³ 中国研究所編「鋼鉄の都—鞍山の回復」『アジア経済旬報』176 号、1953.4、10-19 頁。梅根常三郎「満洲鉄鋼業の復興状況」『鉄鋼界』3 号、1953、14-23 頁。中国研究所編「鞍山三大工事の完成」『アジア経済旬報』204 号、1954.1、12-18 頁。など

方の現状の報告を行った、ということに過ぎず、日本資本時代から連続性したものとして、歴史的に捉えた研究ではなかった。終戦直後に、「満洲」における日本の産業に最も関心を持っていたのは、実はアメリカであった。日本時代から中国建国以後までの、「満洲」の重工業について調査を行った歴史的研究論文が、アメリカ人研究者の手によって相次いで発表された⁴。中国での研究が本格化したのは、80年代後半で、それも公司に関する社史でしかなかった⁵。日本において、「満洲国」時代の重工業遺産に注目が集まり始めたのは、80年代に入ってからであった。『大倉財閥の研究—大倉と大陸—』⁶は、この新しい研究潮流の端緒的文献である。その後、相次いで歴史研究論文が発表されたが、これらの研究の多くが、対象が個々の公司の経営や教育機関であったり、年代が「満洲国」期に限られていたり、分析が労働力や資源の搾取を明らかにすることであったりと、産業としての性格を全面的には捉えてはいない、断片的なものであった。なお、この時期における業績として、公司の元技術者・事務員が編纂した大著『太子河』⁷の功績についても触れておかななければならない。日中の時代を連続的に捉え、産業としての性格を全面的に捉えた研究を行ったという点では、松本俊郎の『「満洲国」から新中国へ』⁸が実質的に最初である。

以上が、公司および「満洲」の産業に関する研究史である。本研究は、以上の研究の流れと、問題点を踏まえ、本溪湖煤鉄公司から本溪鋼鉄公司までの変遷を一貫した歴史として捉え、さらに産業構造の形成過程に注目することで、産業としての性格を全面的に明らかにしようと考えた。

⁴ E.B. Schumpeter. *The industrialization of Japan and Manchukuo, 1930-1940* (G.C. Allen Macmillan, Population, raw materials and industry Co, 1940). Chong-Sik Lee (李庭植) など

⁵ 本鋼史编写組編『本鋼史』辽宁人民出版社(沈阳), 1985.5. 本鋼史志办公室編『本鋼志—第一卷(上)』辽宁人民出版社(沈阳), 1989.6. 本鋼史志办公室編『本鋼志—第一卷(中)』辽宁人民出版社(沈阳), 1992.5. 本鋼史志办公室編『本鋼志—第一卷(下)』辽宁人民出版社(沈阳), 1992.12. など。公司の編集の通史書であり、各産業計画の計画概要とその成果について詳しい。一次資料を随所で用いており、貴重な資料である。

⁶ 村上勝彦「本溪湖煤鉄公司と大倉財閥」奈倉文二「日本鉄鋼業と大倉財閥」『大倉財閥の研究—大倉と大陸—』近藤出版社, 1982. 同書は大倉財閥が設立した東京経済大学の「大倉財閥研究会」が中心となって進めた大倉財閥の研究論文大集で、経済史における財閥論の立場から分析がされている。

⁷ 本溪湖会「太子河」編集委員会編『太子河—満洲本溪湖100年の流れ』本溪湖会(武蔵野市), 1992.11. 本溪湖会と「大倉財閥研究会」の村上等が共同で執筆したもので、一次資料・インタビュー・回顧録をまとめた文献である。特に磁力選鉱と低磷銑鉄製造技術の開発過程についての詳細な記述がある他、これらの技術が、「満洲国」が成立するまでは生産へと結びつかなかったという点について強調している。

⁸ 松本俊郎『「満洲国」から新中国へ—鞍山鉄鋼業からみた中国東北の再編過程』名古屋大学出版会, 2000.7. 松本は、「満洲国」期に急増した鞍山鉄鋼業の水準と特徴、終戦から新中国建国までに政治情勢、新中国への継承過程という3段階に分けて調査と分析を行い、特に留用された日本人技術者達が継承過程において大きな役割を果たしたことを実証した。

本研究の課題は以下の通りである。

1. 全時代を通じて、公司を取り囲んでいた、社会、技術、資源の諸条件が、公司の生産構造の歴史的な変遷にどのように影響していたのかを明らかにする(2～5が対応)。
2. ソ連軍の収奪と、国共内戦による被害の実態を明らかにする(4が対応)。
3. 産業計画(「満洲国産業五カ年計画」・新中国第一次五カ年・第二次五カ年計画)の存在が、公司に与えた影響を明らかにする(3, 5が対応)。
4. 国共内戦終結後の、戦後復興活動の実態を明らかにする(5が対応)。
5. スウェーデンやソビエト連邦など、日本以外の諸外国による技術協力の実態を明らかにする(2～4が対応)。

以上の課題を踏まえ、公司が歴史的にどのように発展していったかを明らかにしていく。

公司の物質的生産手段と、公司技術者との関わりを明らかにするため、一次資料を重点的に発掘した。資料は、本溪市図書館、本溪鋼鐵公司档案馆、遼寧省図書館、国立国会図書館、JETRO アジア経済研究所、一橋大学、東京経済大学、本溪湖会に主に保管される。このほか、公司副産物工場の元技師、和田智雄氏にインタビューをおこなった。

2. 本溪湖煤鉄公司時代 I (1906～1931) :

高炉メーカーとしての出発と、低磷鉄製造技術の開発

公司は、鉄鉱・炭鉱・石灰石鉱・耐火煉瓦用の礬土結岩が存在する、世界でも随一の資源の好条件にある本溪湖の街で発足した。公司が本溪湖炭鉱での採鉱をスタートさせたのは1906年のことで、当初は採炭企業でしかなかった。公司は最初に坑道を掘削、次いで安奉線の輸送力を強化し、発電所を建設して運搬・排水・通気・照明の電化を果たした。さらに数年の内に、電気唧筒・通気用扇風機・電灯が設けられ機械化と電化が進んだ。一方で、苦力の存在のために、坑道開削や石炭掘削における機械化は大幅に遅れた⁹。

1913年からは、コークスの生産が本格化した。本溪湖炭は、粘結性・低磷・低硫の高級瀝青炭で、製鉄用コークスの原料として適した¹⁰。製鉄を開始するには、鉄鉱・石灰石鉱の採鉱設備と製鉄設備を最低限建設する必要があったために、石炭・コークスを販売することで建設費用を賄おうとする経営判断をしていた。公司が設立される以前にも、土法による鑄物鉄の生産が行なわれていたが、多くは原始的な生産技術であった。そのため、露天円窯によるコークス生産法のみが公司に引き継がれた。1919年には、コールタール・ピッチなどの副生物の回収が可能な英国考伯式コークス炉の技術を導入し、これを改良した黒田式コークス炉に置き換えていった¹¹。以上は、1906年から1915年までの第一段階の時期であり、言うなれば、石炭の時代であった。

⁹ 本溪湖煤鉄公司編『本溪湖炭礦發達史』内部発行、1931.5 7-20・27-46頁。

¹⁰ 公司資料「本溪湖炭の外観及構造」、1915。

¹¹ 前掲『本鋼志—第一卷(中)』、195-198頁。を参照。

会社は製鉄企業へと脱皮するために、鉄鉱石の採掘権を得るための政治的工作を行うとともに、鉄鉱山の資源調査や製鉄技術の移入を進めた。鉄鉱石の採掘権を得ると、直ちに廟児溝鉄鉱の開発を行い、斜坑と水平坑道を掘削した¹²。

また海軍の要請に応じて低燐鉄生産を計画した。当時の日本は高級低燐鉄をスウェーデン木炭低燐鉄と英国ヘマタイト鉄に頼り切っており¹³、これを国産化することは至上命題であった。「従来ヨリ天然自然的硫黄、燐ノ含有量微小ナル瑞典木炭鉄或ハ英國『ヘマタイト』鉄ノ貴重視セラレ、所謂純鉄ト呼稱セラレテ斯界羨望ノ的トナリ、各国競フテ高價ヲモ顧ミス、兵器ハ勿論其他抗力上重要性能ヲ有スル機械、器具ノ各部製作用ニ供スルハ宜ナル次第」¹⁴とあるように、低燐鉄はきわめて貴重なものであった。会社は、鉄石をイギリスとスウェーデンに送ることで、最適な生産技術を欧州から導入しようとした。廟児溝鉄鉱石は、低品位の磁鉄鉱が大部分であったため、磁力選鉱を始めとする鉄石事前処理技術をスウェーデンから導入することになった。低燐鉄製造技術は、低燐貧鉄鉄石を磁力選鉱し、団鉄とし、コークス吹き高炉で鉄を得るというものであった。磁力選鉱工場の設備は主にスウェーデンから輸入され、コークス吹き高炉は八幡製鉄所が設計した¹⁵。

会社は1915年の時点で低燐鉄の生産に漕ぎ着けていたが、低燐鉄生産量は、全鉄生産量の1割にも達しなかった。これは、低燐鉄の最大の需要者であった日本帝国海軍が、ワシントン軍縮条約のために軍艦を建造することができなくなったためであった。低燐鉄が消費されなくなったために、日本政府の補償金がなければ、経営が立ち行かなくなっていた。会社の低燐鉄が、スウェーデン木炭低燐鉄と英国ヘマタイト鉄の輸入を完全に代替するようになるのは、1930年前後のことであった(表2-1)。以上は、1916年から1931年までの第二段階の時期であり、言うなれば、普通鉄の時代であった。

表2-1 日本の低燐鉄輸入量比較 (t)

年	本溪湖低燐鉄	英国ヘマタイト鉄	スウェーデン低燐鉄
1915	2829	36729	6868
1916	10731	31615	2777
1917	4534	5462	3767
1918	691	17846	4217
1919	8154	44762	10783
1920	837	58565	14158
1921	1674	22628	18065
1922	783	9726	4066
1923	647	6365	662
1924	409	7909	14075
1925	1281	8185	2958
1926	1544	7595	238
1927	3280	6727	2197
1928	4030	8397	1695
1929	8320	9134	814
1930	3515	4034	1960
1931	11280	3696	1481
1932	15765	2948	418
1933	36925		10003
1934	54080		256
1935	50350		610
1936	66555		63

出典：会社資料『本溪湖煤鉄公司ニ就イテ』、1938年、9・10頁を参照。

¹² 会社資料「廟児溝鐵山地質調査報告」165-169頁。

¹³ 会社資料「本溪湖煤鉄公司ニ就イテ」、1938、9・10頁。

¹⁴ 会社編『本溪湖純鉄の発達と是が将来』1934.2、2頁。

¹⁵ 会社資料「兵器純鉄製造及優良鉄(ヘマタイトピグアイロン)製造計画」1913。

3. 本溪湖煤鉄公司時代Ⅱ（1932～1945）：

総合製鉄企業への発展と、特殊鋼部門の建設

低磷銑鉄の生産は、公司と日本帝国海軍との協定で規定路線とされたものであった。本溪湖には、磁力選鉱工場→団鉱工場→コークス吹き高炉、という一連の低磷銑鉄生産ラインがすでに建設されていた。1931年の満洲事変は、鉄需要の急速な回復をもたらし、生産ラインのすべてを利用できる状況になった。公司は、低磷銑鉄を大量生産するための方針を固めた。各工程の諸設備は、陳腐かつ貧弱であった。公司技術者の井門文三は、採鉱部門から高炉に至るまで、すべての設備を一新ないし改良する計画であった。その第一が、逼迫しつつあった鉄鉱石の採掘量拡大であった。富鉱の採掘能力を23.5万tに増強するため、200馬力の空気圧縮機1台、水平坑道運搬設備一式が導入された。低磷銑鉄の生産能力を5.5万tに増強するために、低磷選鉱工場、焼結工場の建設が決められた¹⁶。だが、最も大きな問題は、無尽蔵にある貧鉱の活用であった。公司は、貧鉱採掘量の大幅な引き上げを計画した。計画には、7.4万tと14.8万tとする2つの計画案が存在した。前者の場合、200馬力空気圧縮機1基、貧鉱採掘設備一式、焼結炉、選鉱工場、焼結工場、水平坑道運搬設備一式、社宅の合計175万円の予算が見込まれた。後者の場合、内容はほぼ同じだが、310万円がかかると見込まれた。高炉の二基体制は変わらなかったが、焼結工場・低磷選鉱工場の新設に伴う、装入原料の変更により、年産14.5万tの銑鉄生産能力のうち、高級低磷銑鉄を3.5万tから5.5万tへ、普通低磷銑鉄を4万tから4.5万tへ、普通銑鉄を7万tから4.5万tへと変更された¹⁷。以上は、1932年から1936年までの第三段階の時期であり、言うなれば、低磷銑鉄の時代であった。

需要の拡大に合わせ、公司は持てる設備すべてをフル稼働させ、生産を拡大しようとしていたが、「満洲国」政府や関東軍を満足させるには程遠かった。このために、公司は1937年に「満洲国」の特殊企業とされ、第一次産業五カ年計画を実行させられた¹⁸。公司は、最新の大型高炉2基や、焼結工場を含む、宮原製鉄所の建設を本格化させるなどして、各種の鉱石・人工富鉱・低磷銑鉄を大幅に増産していった¹⁹。公司は、さらに坩堝海面鉄-電気炉法による特殊鋼部門の建設を目指した。製鋼工場において平炉・電気炉・海綿鉄用坩堝を設置し、圧延機やメッキ用の機材を日本から輸入することで、特殊鋼・鋼材を生産した²⁰。だが、これらの生産量は1940年代前半において年産3000t足らずであり、銑鉄生産量の1%前後であった。公司が鋼材の大量生産に乗り出すことはできなかった理由は三つある。一つには、「満洲国」の中で、鞍山は鋼材までの銑鋼一貫生産、本溪湖は銑鉄を中心とした生産、東辺道は両公司への鉱石の

¹⁶ 公司資料「事業計畫書」、1934。

¹⁷ 公司資料「事業計画ト所要資金」、1932.11。

¹⁸ 公司資料「本溪湖煤鉄有限公司設立ニ関スル契約書」。

¹⁹ 前掲『本鋼志—第一卷（中）』11頁。

²⁰ 公司資料「海綿鐵團塊製造方法」。

供給と位置付けがあったこと。二つには、低磷銑鉄を内地に輸出し、内地で製鋼した方が安く付くといった経営上の問題があったこと。三つには、必要な技術者と資材の確保が困難になったことである。

以上の理由により、この時期の会社を銑鋼一貫製鉄企業と表記することはできない。とはいえ、「満洲国産業五カ年計画」は、会社に生産施設と技術力養成、生産ノウハウなどについて、有形無形の産を残した。これが、1949年に建国した中華人民共和国へと、国を超えて引き継がれた。1950年代以降の、会社の銑鋼一貫製鉄企業への飛躍は、この時代があってこそであった。それは、銑鋼一貫製鉄企業へと飛躍するのに必要な、生産施設の拡充と、技術開発がこの時代に行われていたからである。なかでも重要であったのが、焼結・副産物回収・特殊鋼・鋼材の各生産工程における各技術開発、技術導入であった。以上は、1937年から1945年8月までの第四段階の時期であり、言うなれば、次の時代に総合製鉄企業としての飛躍するための土台が築かれた時代であった。

4. 国共内戦時代(1945.8~1948.10) : 収奪と内戦による破壊の時代

終戦後、最初に中国共産党が本溪を支配していた期間は、生産設備への破壊はほとんど無かった。だが、公司经营は実質的に停止し、日本時代に築き上げられた人的資源は喪失していった²¹。日本側にとってみれば、公司そのものが軍事的性格を帯びていたために生産活動を停止して敗戦処理を緊急に行わなければならず、中国共産党側にとっても、本溪を軍事的に掌握していないための政治の空白が大きな要因であった。一方で、中国共産党の影響下にあった中国人工人たちは、生産施設の保全に乗り出しており²²、ソ連軍の収奪がなければ、公司は直ちに生産を再開できる状態にあった。

だが、これを根底から崩したのがソ連軍による収奪であった。ソ連軍は、1945年9月13日にスタロウィッチ中佐を長とした技術将校5名の先遣隊を、17日にアドバシヤン少佐を長とした200名の解体作業を目的とした小隊を本溪に進駐させ、産業施設の内でも、新しく生産能力が高く、生産工程における心臓部を意図的に収奪していった²³。解体作業用の作業員は、最大時で1000名以上に達し、宮原製鉄所にあるコークス工場・団鉱工場・焼結工場・製銑工場・電気機械工場と廟児溝鉄鉱の採鉱・選鉱工場に設置された生産設備の大半を収奪し

区分	地域	重量(t)
動力		2985
製鉄		1815
ガス		180
鑄造工場		757
団鉱工場		626
焼結工場		256
コークス工場	宮原製鉄所	586
化学品製造		705
機械工場		124
電気修理		120
機械予備品		1910
在庫品		309
輸送		1382
堅坑	彩家屯	88
採鉱		40
選鉱工場	廟児溝	2422
その他		710
合計		15015

出典：前掲『太子河』292頁を参照。

²¹ 前掲『太子河—満洲本溪湖100年の流れ』276-286頁。

²² 刘恒华編『中国共产党本溪地方历史大事记』辽海出版社，2001年5月，14頁。

²³ 前掲『太子河—満洲本溪湖100年の流れ』287頁。

きったのであった²⁴（表 4-1 を参照）。給電が止まったために、収奪の無かった坑道においてさえも、浸水が深刻化していた。アメリカと国民党政府は、ソ連に強く反発した。アメリカは、ポーラー調査団を派遣し、ソ連軍による収奪被害を明らかにした²⁵。

だが、この危機的状況は更に悪化した。ソ連軍撤退後、本溪を支配した中国共産党は、市政府と会社の日本人指導者層を戦犯として弾圧したために、会社の人的資源が急速に失われることになった²⁶。この時期に生産が回復したのは、本溪湖炭鉱のみであった。以上の、1945年8月から1946年4月までは、言うなれば、破壊の時期であった。

1946年5月から1948年10月まで、本溪は国民党政府に支配された。国民党政府は、復興計画を策定し、積極的に公司再建に乗り出した。滞留していた日本人居留民の帰国事業を開始し、代わりに一部の日本人技術者達を留用者として留まってもらい、公司再建に必要な人材を残した²⁷。中国側からも張松齡、靳樹梁、閻純志ら著名な冶金学者や技術者を集めた²⁸。復興計画は、大きく三段階に分けられ、第一期計画は、最初に第二発電工場を復旧させ、次に炭鉱斜坑を復旧した上で石炭生産量を確保し、機器工場を復旧させ、最後に耐火煉瓦工場、コークス工場、副産物工場を復旧させるという手順であった。第二期計画は、最初に彩屯鉱山堅坑の未完成部分を掘削し、次いで各鉄鉱山の坑道を復旧し、本溪湖工区高炉での銑鉄生産を再開し、第三期計画で、南芬選鉱工場の復旧させた後、銑鉄生産を再開することであった²⁹。復興の手順そのものは、理に適ったものであったと考えられる。しかしながら、戦況の悪化と、再建物資の確保がままならず、製銑・製鋼が再開されることは無く、復興計画は失敗した³⁰。以上は、1946年5月から1948年10月までの、言うなれば、国民党政府による復興への努力とその失敗の時期であった。

5. 本溪鋼鐵公司時代（1949～1962）：

戦後復興と、銑鋼一貫製鉄企業への発展

1948年10月に本溪地区における国共内戦は終結した。その直後から中国共産党政府による復興活動が開始された。中国共産党は、1946年の自身の失敗を

²⁴ 前掲『本鋼九十年』22頁。

²⁵ Edwin, W. Pauley, "Report On Japanese Assets in Manchuria to the President of the United States", The Library of Congress, July, 1946, Photo duplication Service (Washington, D.C.), Log of the Mission, vii.

²⁶ 前掲『中国共産党本溪地方歴史大事記』19-20頁。

²⁷ 前掲『太子河—滿洲本溪湖100年の流れ』310-319頁。

²⁸ 前掲『本鋼九十年』23頁。および和田智雄氏インタビュー。和田氏は宮原製鉄所副産物工場元技師。インタビューは、横浜市金沢区の同氏自宅にて、2006年12月27日に行った。

²⁹ 前掲『本鋼志—第一卷（中）』12-13頁。

³⁰ 前掲『本鋼九十年』24頁。および本鋼发电厂志編輯『本鋼发电厂志』本溪市印刷二厂（本溪），1988.7，21-22頁。

省み、元国民党員に対する戦争犯罪追求を行わず、あらゆる人々に公司再建への協力を呼びかけた。その結果は、第二発電工場の三号ボイラーや本溪湖二号高炉の修復作業に代表されるように、中国人技術者・工人の創意工夫と熱意とが、破壊されたままの高炉・発電所・坑道の再建を成功させた³¹。公司は、これに続いて1950年に三年戦後復興計画を策定した。計画は、1. 残存する設備すべてを復旧させ、2. 鉍石生産を増強し、3. 製鉄—製鋼—圧延・特殊鋼材という銑鋼一貫連続生産を可能にする、というものであった³²。三年復興計画の実行の結果、1952年には、鍍金鋼・不錆鋼・航空機材用鋼などの鋼材の生産に成功した。生産量については、1952年の銑鉄生産実績は、日本時代の最盛期であった1941年の実績を上回っていた。さらに、銑鉄に対する鋼鉄生産量が約1割に達するなど、日本時代の銑鋼生産比率の歪さを徐々に解消しつつあった³³。以上の、1948年10月30日から1952年までは、言うなれば、復興の時期であった。

1953年から1962年にかけて、公司は、第一次五カ年計画(1953～57年)と、第二次五カ年計画(1958～62年)という、二つの産業計画を実行した。この二つの産業計画の目標は、低磷銑鉄を転炉で還元した直接鋼と、坩堝法海面鉄を経由した間接鋼の生産を可能とした上での、銑鋼一貫製鉄企業への飛躍であった。生産実績では、1959年まではすべての成品が増産を続け、1960年における銑鉄/鋼鉄生産量比率は0.32にまで向上していた³⁴。このような飛躍を可能にしたのが、中国側の自助努力であったのと共に、ソ連から技術協力を取り付けられたことであった。

第一次五カ年計画の概要は、1. 停産中の三号・四号高炉の再建、2. 南芬鉄鉍における新坑道掘削、3. 第三選鉍工場を再建、第四選鉍工場を新設、4. 新型焼結工場を建設、5. コークス工場本溪76型コークス炉2基を修復し、副成物生産系統を最新型のものに置き換える、6. 第三発電工場にソ連製の発電機・送風機・ボイラーを導入する、ことであった³⁵。だが、徹底した収奪を受けた第二製鉄工場の再建、炭鉍・鉄鉍の堅坑掘削、選鉍工場・発電所新設を、中国単独で設計・建設するだけの人材も資材も持ち合わせていなかった。それを解決したのが、ソ連による技術協力であった。1951年10月には「ソ連による中国本溪鋼鉄公司再建の為の技術設計協力協定」³⁶が締結された。ソ連の技術移入は、技術指導とソ連製の生産設備の輸入の二つに大別することができ、それぞれが公司を銑鋼一貫製鉄企業としての飛躍させるために必要不可欠であった。

³¹ 前掲『本鋼九十年』28-33頁。

³² 中共本溪市委党工作办公室編輯『紀念本溪解放四十周年專輯』中共本溪市委机关印刷厂、1988年9月、120頁。および前掲『本鋼九十年』38頁。

³³ 前掲『本鋼志(中)』160・161・166・188・189・190・206・220・221・245・246・253・265・266頁。

³⁴ 前掲『本鋼志(中)』160・161・166・188・189・190・206・220・221・245・246・253・265・266頁。

³⁵ 前掲『本鋼九十年』43頁。および前掲『本鋼志—第一卷(中)』14頁。

³⁶ 公司資料「第00524号合同：中国技术进口公司和全苏技术出口公司」。

第二次五カ年計画の概要は、1. 製鋼部門と圧延部門を拡張、2. 歪頭山鉄鉱の堅坑・水平坑道を掘削し、鉄鉱石採掘量を大幅に増強、3. 明山石灰石鉱山を開発、4. 未開発の本溪周辺の炭鉱・鉄鉱・石灰石鉱の地質調査を進める、5. 製鋼工場を新設、6. 球形団鉱工場を新設する、ことであつた³⁷。最終的には、多品種・高品質の鋼材・特殊鋼の大量生産することが目指された。堅坑掘削技術や球形団鉱製造技術の確立は、日本時代から脱却し、中国独自の技術開発が軌道に乗り始めていた実例であつた。だが、公司は、その最後の段階において、大躍進運動による出戻りを余儀なくされた。大躍進思想の蔓延による一辺倒な生産力拡大への礼賛は、非効率な投資や無謀な採掘をもたらした。対ソ関係の悪化に伴う、ソ連による技術協力の停止は、1961年の太子河の氾濫に対する抵抗力を公司から奪つた³⁸。以上は、1953年から1962年までの第二段階で、言うなれば、銑鋼一貫製鉄企業への飛躍の時代であつた。

6. 同時期の主要競合他社との比較

本章では、本溪鋼鐵公司と競合関係にあつた製鉄企業のうち、代表的な企業として、八幡製鉄所、神戸製鋼所、鞍山製鉄所、兼二浦製鉄所を抽出し、それぞれの企業の歴史的経過を簡明に記述した。本章の最重要課題は、原材料・製品の自給関係から、本溪湖煤鉄公司の生産構造の発展形態への影響を評価することである。当時、日本最大の製鉄所であつた八幡製鉄所は、鉄鉱石を中国に依存していたほか、銑鉄生産能力と鋼鉄生産能力のギャップを、本溪湖をはじめとする海外製鉄所の銑鉄に依存していた。1920年代の八幡製鉄所における銑鉄生産能力は50万t、鋼鉄生産能力は108万tであり、そのギャップは大きかった。本溪湖煤鉄公司は、自身で製鋼部門を設けるのではなく、高炉で精錬された低磷銑鉄・普通銑鉄を、八幡製鉄所に供給することが、当時の経営モデルであつた。だが、1930年代半ばからは、八幡を含む日本製鉄株式会社が、全社的に高炉を建築することで、次第にこのギャップが収縮していた。

神戸製鋼所をはじめとする製鋼メーカーは、余剰の投資資金をもたなかつたため、高炉を建設せず、製鋼・鋼材部門のみに特化した形態をとっていた。1920年代まで多用されていた酸性平炉では、大量の低磷銑鉄が消費されていた。本溪湖煤鉄公司は、これらの製鋼メーカーに、低磷銑鉄を高い値段で引き受けさせることができた。

鞍山製鉄所には、本溪湖炭を売却していたものの、需給関係という点では、意外なほどに関係性が低かつた。だが、鞍山製鉄所は低磷銑鉄を生産できなかったため、本溪湖煤鉄公司をして、低磷銑鉄生産に特化させるというインセンティブを与えていた。以上のように、本溪湖煤鉄公司は1930年代前半まで、低磷銑鉄の供給を最も期待されていた。そのために、低磷銑鉄生産技術は早期に完成したが、特殊鋼・鋼材部門の建設は遅れた。

³⁷ 前掲『本鋼九十年』53頁。

³⁸ 前掲『本鋼志一第一巻(上)』48-49頁。および、前掲『本鋼九十年』53～54頁。

7. 結論

1906年に会社は発足したが、当初は採炭企業でしかなかった。本溪湖炭が粘結性・低燐・低硫黄の高級瀝青炭で、製鉄用コークスに適した物性であった。つづく、1916年から1931年までは、普通銑鉄の時代であった。廟児溝鉄鉱石は、低燐・低硫ではあったが、低品位の貧鉱という問題を抱えていた。このために、磁力選鉱を始めとする鉱石事前処理技術がスウェーデンから導入された。会社は1915年の時点で低燐銑鉄の生産を開始したが、対銑鉄生産量の1割にも達せず、この時代の主力産物とならなかった。これは、低燐銑鉄の最大の需要者であった日本帝国海軍が、ワシントン軍縮条約締結により、軍艦を建造することができなくなった為であった。低燐銑鉄の生産は本格化しなかったが、磁力選鉱工場→団鉱工場→コークス吹き高炉、という一連の低燐銑鉄生産ラインは、この時期までに完成した。

1931年の満洲事変は、低燐銑鉄の需要の急速な回復をもたらした。こうして、1931年から1936年までの低燐銑鉄の時代がもたらされた。日本内地の製鋼メーカーは、従前のスウェーデン木炭銑鉄および英国ヘマタイト銑鉄に変え、本溪湖低燐銑鉄を原料として購入するようになった。つづく、1937年から1945年8月までは、総合製鉄企業への飛躍の土台が形成された時代であった。会社は、最新の大型高炉2基や、焼結工場を含む、宮原製鉄所の建設を本格化させるなどして、各種の鉱石・人口富鉱・低燐銑鉄を大幅に増産していった。だが、日本勢力圏のなかでは、会社および兼二甫製鉄所は、八幡製鉄所をはじめとする製鋼企業への原料銑鉄供給企業という位置付けがあった。同時に、低燐銑鉄は、普通鋼と大差ない高い値段で取引されたために、鋼材を大量生産しようとする経営上の動機は大きくなかった。特殊鋼・鋼材の生産量は1940年代前半において年産3000t足らずで、対銑鉄生産量の1%前後にすぎなかった。しかしながら、この時代に、特殊鋼部門・製鋼部門の建設が進められていたことが、会社を通じての、戦後の新中国の迅速な国家建設の前提となったのであった。

戦後は、ソ連軍による収奪を被り、再建は困難を極めた。しかしながら、中国人技術者と工人の献身的な努力により、3年以内にほとんどの設備が再建された。この時点で残された最大の問題は、会社の製鋼設備は著しく貧弱で、鋼材部門を有していないことであった。戦前においては、低燐銑鉄さえ生産すれば、日本内地において鋼材を生産できたのに対し、中国には製鋼企業が存在しなかったために、戦後直後は鋼材を生産できなかったからである。会社の直接鋼部門と鋼材部門の建設は、ソ連による全面的技術協力があって、はじめて可能になった。

**A Historical Study of Manufacturing Structure
at the Benxi Steel Complex**
—A Steel Complex from Japan to China—

KIBA, Atsuhiko

Abstract:

This thesis focuses on the Benxi Steel Complex which was constructed at Benxi (Penshifu), Manchuria by a Japanese zaibatsu group named Okra. It looks at the complex's development from its beginning 1906 to 1962. After the Japanese defeat in World War 2, it was taken over by China. There are a few existing studies on the Complex. But these studies do not offer a good analysis of its overall industrial history. Furthermore, there are no previous studies that deal with its history from Manchukuo to China as a whole. This thesis aims to analyze the Complex's whole history and its development with a special reference to its manufacturing structure.

The Complex was originally a coal mining company. After Okura Group acquired the mining rights of the Miaoergou iron ore mine, the Complex became a pig iron maker. Penshifu is the ideal place for steel making, because there are all kind of mines of iron ore, coal and limestone in the vicinity. However, because iron ore is magnetite poor ore, the Complex had to acquire specific manufacturing technologies such as magnetic concentration and low phosphorus pig iron manufacturing. The Complex produced low phosphorus pig iron which Japan Navy needed.

After the Manchurian Incident, a munitions boom occurred. The Complex started to expand its manufacturing facilities. After 1937, the Complex became a subsidiary company of a Japanese "political company" named Nissan Concern. The Complex executed "The Manchukuo Industry Five Year Program", and constructed a special steel manufacturing division. However, because of the conscription of its engineers, and the Japanese loss of the command of Tsushima Channel, the complex ran into financial difficulties, and failed in the full-scale production of special steel.

After the collapse of "Manchuria Empire", Soviet army ruled Manchuria. It destroyed and took away a large part of machineries from the Complex's manufacturing facilities. It also destroyed power plants disrupted the reconstruction activity. Next, the Chinese Communist Party ruled Benxi. The Party arrested Japanese leaders and executed them as war criminal in early 1946. Soon, the Chinese Nationalist Party defeated the Communist Party, and tried to reconstruct the Complex. But, finally it abandoned.

In 1948, after the Chinese Civil War, the Communist Party tried to reconstruct the Complex again. This second attempt succeeded thanks to Chinese engineers and workers contribution and to the Soviet Union's technology cooperation. From 1953 to 1957, the Complex succeeded in acquiring the Integrated Iron and Steelmaking Works.

投稿規定

1. 本学で研究・教育に携わる者は投稿することができる。その他、編集委員会が必要あるいは適切と判断した場合も本誌に投稿することができる。
2. 投稿の種類は、論文、寄書・資料紹介、研究ノート、修士・博士論文概要等とする。
3. 原稿の掲載の可否は審査を経て決定するものとする。論文審査は、編集委員もしくは、編集委員会が必要と判断した場合は、別に適切な審査員を選んで行う。
4. 原稿の分量は注や図表も含めて 40,000 字を一応の限度とする。
5. 原稿は 3 部提出し、著者は手元にオリジナルを必ず保管する。また、原稿の電子ファイルを取めた電子媒体(フロッピー・ディスク、CD-ROM 等)を提出する。投稿した原稿・電子媒体は返却しない。
6. 原稿は下記宛に送付する。
〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1 東京工業大学大学院 社会理工学研究科
経営工学専攻 技術構造分析講座 大岡山西 9 号館『技術文化論叢』編集委員会
7. 掲載された文書の著者には掲載号を 3 部贈呈する。
8. 発行後に訂正を要する事項が生じた場合には、できるだけ早く文書で編集委員会に申し出る。
9. 本誌に掲載された文書の著作権は『技術文化論叢』編集委員会に帰属する。他に転載しようとする場合には、あらかじめ編集委員会に申し出て許可を受けなければならない。
10. 本誌に掲載された文書は、一定期間を経た後、技術構造分析講座のホーム・ページにおいて公開される。URL : <http://www.histec.me.titech.ac.jp/course/index.html>
11. 原稿の作成は次のようにおこなう。
 - (1) 原稿は、原則としてワード・プロセッサを用いて作成する。使用するソフト・ウェアは、一般に広く普及しているものが望ましい。
 - (2) 用紙は A4 サイズのものを横書きで使用し、1 ページあたり 35 字×40 行を目安とする。左右 3cm, 上下 3.5cm の余白をあける。
 - (3) 原稿の冒頭に和文表題・著者名を入れる。また、著者の所属機関名など連絡先を脚注に記す。
 - (4) 英文表題とローマ字による著者名を付記する。
 - (5) 論文には 250 語以内の欧文要旨をつけることが望ましい。
 - (6) 句点はコンマ(,)、終止点はピリオド(.)を用いる。
 - (7) 文中の引用文は「」の中に入れる。長い引用文は本文より 2 字下げて記入する。
 - (8) 図表には表題をつけ挿入個所を指定する。説明文は挿入個所に書き入れる。図表は白黒のみとし、そのまま写真製版できるような鮮明なものを使用する。カラーの図表は受けつけない。
 - (9) 引用文献の記載においては、出典を確認できるよう十分な書誌データを記す。書き方は以下の例に準じる。

<書籍>

- ・ロバート・オッペンハイマー(美作太郎、矢島敬二訳)『原子力は誰のものか』中公文庫、中央公論新社、2002 年、17 頁。
- ・Mark Walker, *Nazi Science: Myth, Truth, and the German Atomic Bomb* (Cambridge: Perseus Publishing, 1995), 269-271.

<論文>

- ・David Holloway, "Physics, The State, and Civil Society in the Soviet Union," *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences*, 30(1999): 173-192.
- ・スタンリー・ゴールドバーグ(春名幹男訳)「グローブス将軍と原爆投下」『世界』岩波書店、611 号(1995 年 8 月)、173-191 頁。

この投稿規定は 2005 年 4 月 1 日以降から適用する。

『技術文化論叢』編集要綱

1. 発行趣旨

今日の科学・技術の発展はきわめて急速であり、社会における科学・技術のあり方や先端技術の方向性如何が環境問題や人間性にかかわるものとして論議をよんでいる。他方、技術開発をめぐる国際的競争はますます激化しており、ここでも先進国間、南北間での技術移転や国際協力問題は国際的な課題となっている。東京工業大学大学院社会理工学研究科は「科学技術と人間社会のインターフェイスに位置する文化や科学技術を対象とする学問領域を切り開くために」設置された。

『技術文化論叢』は、こうした状況の下で、科学や技術の本質、それらの発展の仕方や社会的関係などを歴史的に、哲学的・方法的、あるいはひろく社会科学的に論議する研究誌として公刊するものである。

2. 発行主体

東京工業大学大学院社会理工学研究科経営工学専攻技術構造分析講座で発行の運営を行う。

3. 編集組織

上記技術構造分析講座を中心として編集委員会を構成するが、適宜必要に応じて東京工業大学内の構成員が加わることも妨げない。編集委員は、1年任期とする。再任を妨げない。

4. 発行回数

原則として年1回とする。

5. 投稿資格

本学で研究・教育に携わる者とするが、編集委員会が必要あるいは適切と判断した場合は、この限りではない。

6. 審査

投稿論文の掲載の可否は審査を経て決定するものとする。論文審査は、編集委員もしくは、編集委員会が必要と判断した場合は、別に適切な審査員を選んで行う。

7. 掲載投稿の種類

論文、寄書・資料紹介、研究ノート、修士・博士論文概要等とする。

8. 次号(第11号)の原稿提出締め切りは2008年1月4日とする。

『技術文化論叢』第10号(2007年)

2007年4月1日発行

編集：技術文化論叢編集委員会

編集委員長：Yakup Bektas

編集委員：加治木紳哉、栗原岳史、小長谷大介

発行：東京工業大学大学院 社会理工学研究科 経営工学専攻
技術構造分析講座

〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1

URL：http://www.histech.me.titech.ac.jp

Tel: 03-5734-3610 / Fax: 03-5734-2844

印刷：国際文献印刷社

Contents

<Articles>

- The Introduction of the Canonical Transformation to the Hamilton-Jacobi Theory
at the Beginning of Twentieth Century NAKANE, Michiyo 1
- "Conservation Law" and "Acceleration Law" in Johann Bernoulli's Mechanics
NOZAWA, Satoshi 14

<Note>

- Female Students in Tokyo Institute of Technology: From Early Years to the Present
KATAGIRI, Maika 41

<Abstracts>

- The US Foreign Policy and the Introduction of Technology to Japan in the Early
Period of the Cold War —Yomiuri Shimbun and the Introduction of Television
Broadcasting and Atomic Energy to Japan: 1945-1956—
OKUDA, Kenzo 65
- What Happened to Japan's National Projects in Transportation Technology ?
: The Cases of STOL and TSL KAJIKI, Shinya 85
- A Study of the Development of the High Pressure Steam Engine in the 19th Century
KOBAYASHI, Manabu 106
- A Historical Study of Manufacturing Structure at the Benxi Steel Complex
—A Steel Complex from Japan to China— KIBA, Atsuhiko 125

TITech Studies in Science, Technology and Culture

No. 10 (2007)

Tokyo Institute of Technology

ISSN 1347-6262