

技術文化論叢

No.4

東京工業大学技術構造分析講座

目次

論文

- 1 藁谷 敏晴, 武田 明子
ドイツ語における分離動詞・非分離動詞の認知意味論的研究
—前綴り über の場合—
- 14 **Shizue HINOKAWA**
Cyclotron Development at the Institute of Physical
and Chemical Research in the 1930s

博士論文梗概

- 41 綾野 博之(1997 年)
19 世紀後半の *NATURE* 誌における科学の改革論の展開
- 45 デマイオ・シルヴァーナ(1998 年)
幕末明治初期日本工学教育の展開に関する研究
—横須賀覚舎、燈台寮修技校及び工部大学校の比較分析—
- 75 木場 隆夫(2000 年)
コンセンサス会議の形成とその意義—科学技術への市民参加についての考察—

修士論文梗概 (2000 年)

- 89 小長谷 大介
Max Planck の電磁的エントロピーの導入に関する科学史的研究
- 90 小林 学
蒸気機関用ボイラの発達と材料技術の関係について
- 98 水沢 光
日本におけるテクノロジー・アセスメント行政の歴史的経過と考察
—通産省 工業技術院の取り組みを中心に—
- 102 金 賢淑
連関論理とその意味論についての研究
- 106 米川 聡
ヴィクトリア期イギリスのエンジニアに関する一考察
—イサンバード・キングダム・ブルネルを中心に—

論文

ドイツ語における分離動詞・非分離動詞の 認知意味論的研究 —前綴りüberの場合—

藁谷敏晴

武田明子

1 はじめに

ドイツ語には分離動詞にも非分離動詞にもなる一群の複合動詞がある。これらの複合動詞が分離か非分離かを定める統語論的な法則は明確ではないが、一般的には空間的・具体的な意味を表す場合には分離動詞になり、象徴的・抽象的な意味を表す場合には非分離動詞になる傾向が強いとされている(例えば、*Neue deutsche Grammatik, vergleichen mit der englischen*, Miyake, Sukesaburo, p.155(1977)など)。しかし、“Das Wasser überfloß die Felder.”(畑が水浸しになった。(小学館独話大辞典第2版訳))は具体的であるが非分離動詞であるし、“Sein Hertz fließt vor Dank über.”(彼の心は感謝の念でいっぱいである。(同学社アポロン独話辞典第1版訳))は抽象的であるが分離動詞である。したがって、母語話者は一般的な分類とは何か別の意味的な基準によって分離か非分離かを使い分けているにちがいないと推測される。

Leisi (1953) は語行為 (Sprachakt) を許す語内容 (Wortinhalt、語の意味) を共時的な条件下で調査した。その結果、語の使用が許されるには統語論的制約に加えて当該言語に課せられた慣習に従うことが必要であることを実証し、言語運用における意味論的条件の重要性を主張している。(Leisiと同様の分析は Kecskemeti (1952) および Wittgenstein(1952)によって同時期に独立して行われている。この点については、Leisiの著書“Der Wortinhalt”(1953)の日本語文庫本版である「意味と構造」(鈴木孝夫訳)のp.5を参照されたい。Leisiの原文はない。)また、Lakoff (1987) は認知科学を応用し意味のカテゴリー化について考察を行った。そして、人がある語を使用する際には、知覚や社会的行動などのさまざまな経験に基づいた心的なイメージによって対象を認知することが語の使用に大きな役割を果たすと述べている。

このような認知意味論的な考えを前綴りの分離・非分離の選択にも取り入れて、対象がどのように認知されるかということを考察してみることは、母語話者が分離か非分離かを決定する際の意味的な基準の問題を解決するのに役立つことが予測される。そこで、本稿では母語話者が分離か非分離かを使い分ける際の前綴りの構造概念を認知意味論的な立場から明らかにすることを目的にして前綴りüberを取り上げ、その概念の意味分析を行うことにする。同時に、そのような意味の基準を最も適確に反映させるには日本語の記述をどのよ

うな形で対応させればよいのかについても考察する。これは第二外国語の習得には母語に対応する語との意味論的な条件の違いが正確に伝達されることを考慮することが欠かせない要素となるためである。

本稿では前綴りにüberを持つ複合動詞に焦点を当て、その中の液体および容器に関する複合動詞を取り上げて分析することにする。

2 液体・容器に係わる前綴りüberの構造と中心的な意味

2.1 「超過」の概念としての接頭辞

Lakoff (1987) は over の意味分析の中で、over が接頭辞として用いられる場合、「超過」を意味することがあると述べている。

(a) The river overflowed.

(川の水が溢れた。… Lakoff (1987), 邦訳「認知意味論」(池上嘉彦ら訳著))

(b) Der Strom ist überflutet.

(川が溢れた<氾濫した>。… 小学館, 独和大辞典訳: 以後(小)と略す.)

そして、この「超過」の意味の理由を、容器の高さが液体量の最大限を規定するため、これを越えて流れ出るという経路を辿る液体は通常の基準を超過するという概念を伴うためであるとする。つまり、Lakoff は「超過」を「液体が想定された容器に応じて決められた高さの限度を超える」と定義していることになる。(b) は (a) と同内容のドイツ語文例であるから、(a) と同様に Lakoff の定義による「超過」の概念が伴っていると言える。

(c) The river overflowed the neighboring fields.

(川が氾濫して近辺の田畑が水浸しになった。… 大修館, 英和辞典訳: 以後(大)と略す.)

(d) Der Strom hat die Felder überflutet.

(川の水が溢れて畑を水浸しにした。… 小)

(c) にも (a), (b) と同じ定義に基づく「超過」の概念が係わっている。ここでも川が氾濫するのであるから、やはり液体は容器の高さの限界まで満ち、結果として容器を越えて畑に溢れ出ている。(d) は (c) と同内容のドイツ語文例であるから、(c) と同じ概念が伴っていると考えられる。

上述したように (a)~(d) のそれぞれが意味的に「超過」の概念で一致しているにもかかわらず、ドイツ語文例では、überfluten が (b) では分離動詞として、(d) では非分離動詞として使い分けられている。したがって、「超過」の概念の意味的な内容を Lakoff(1987) の定義に従って容器の高さに注目するだけではドイツ語の分離・非分離の使い分けの意味論的な概念を説明することができないことが推測される。

2.2 容器と「へり」の関係

液体が容器を「超過」という概念には、高さの部分以外にもう一つ注目すべき部分がある。容器の「へり」である。通常、液体はそれが入っている容器の「内部」にある。液体が容器を越えて「外部」へ出ていくには、必ず容器の「へり」を越えなければならない。川の水が溢れて外に出ていくには、容器の「へり」に当たる川岸を越えて外へ出なければならないのである。したがって、液体と容器の関係で語の意味内容を分析するには、液体を「へり」をもつ対象として捉える必要がある。そこで、本稿では「超過」を Lakoff(1987)とは異なり、「液体が容器の許容限界を超えてへりを越えること」と定義し直すことにする。

では、「へり」はどのように認知されるのだろうか。以下、ドイツ語から例を取って検討してみる。

(e) Tränen flossen ihr über Wangen.

(涙が彼女の頬を流れた。… 小)

(f) Meine Augen fließen vor Tränen über.

(私の目に涙があふれる。… 研究社、独和辞典訳：以後(研)と略す。)

(g) Tränen überflossen ihr Gesicht.

(涙が彼女の顔を濡らした。… 三省堂、独和辞典訳：以後(三)と略す。)

いずれの文例も涙が頬を伝っている状態を示しているが、über に関して統語論的に言えば、(e) は前置詞、(f) は分離動詞の前綴り、(g) は非分離動詞の前綴りである。

(e) では涙が顔の上を伝っている状態が示されている。ここでは über は顔の上に涙があること、すなわち、涙と顔の位置関係を示すものとして認知され、涙がどこから来てどこへ行くかは認知の対象外である。したがって、前置詞 über では前綴り über に伴う「へり」の概念は認知の対象にはなっていない。

(f) では涙は目という容器との関係で示され、認知される。すなわち、涙は「へり」を越えて容器の外へと流れ出るものとして認知されている。したがって、前綴り über は容器の「へり」が液体の流れ出す先の、新たな別の容器とそれまでの容器を区別するものとして強く認知される。

(g) では顔に涙がある状態が認知されている。ここでは人の注意は涙が目から溢れ出ることではなく、顔面にあることに向けられている。つまり、容器(顔)を越えることなくそこにあるものとして涙が認知されるのである。一般に「液体が容器の中にある」場合、人はわざわざ液体が入っている容器の「へり」を強く認知する必要はない。認知される容器は顔であり、その容器の「へり」は液体を容器の内部にとどめるのであるから、意識的に強く認知されることはないと言える。

以上の検討から、見た目には同じような状態であっても、対象がどのように認知されるかで über がそれぞれ別の意味内容を持つことが分かる。

2.3 「へり」から「境」への変容

(f) と (g) の「へり」の相違はそれが強く認知されるか否かによっている。「へり」は容器に属するものである。帽子の「へり」は帽子に属し、帽子の外部を示すことはない。畳の「へり」もまた畳に属し、その外部は示さない。液体と容器の関係も同様で、液体が容器の中にある場合、「へり」は容器に属するものとして液体をその内部にとどめるのである。

したがって、「へり」が容器の内部と外部を区別するものとして明確に認知される場合、「へり」は既にいわゆる「へり」ではなく、別のもの、つまり容器の内部と外部を区切る「境界」へと変容する。国と国は国境という「境界」によって区切られ、それぞれが別のものとして認知される基準となるし、土地と土地は「境界」線で区切られ、それぞれの土地が別の所有者のものとして認知される。このように、液体が容器の内部から外部へと出ていく状態を強く認知するとは、「へり」を内部と外部を区分する何らかの「境界」として強く認知することにほかならない。

この観点から (f) と (g) を見ると、(f) の分離動詞の文例では涙が溢れ出ること自体を強く認知しているため、「へり」は「境界」として認知されていると言える。これに対し、(g) の非分離動詞の文例では涙が顔にある状態が認知されているため、「へり」そのものは容器である顔に属するものとして、涙が顔という容器の中に保たれてそこにあることを示していると言える。

以後、液体を容器の内部にとどめる動きをもつ「へり」を **Rand** と呼び、この「へり」を越すと当該液体が異なった認知的観点から考察される状態に変容する動きをもつ「へり」を **Grenze** と呼ぶことにしよう。このように **Grenze** と **Rand** の概念を導入すると、容器の規定は「壁面を高く持つ垂直な入れ物」から「液体をへりの内部にとどめている入れ物」と変更できる。この「入れ物」は液体を内部にとどめればよいものであるから、結局、容器とは「液体を (が) **Rand** の「領域」内にとどめる (とどまる) ものである」と定義できる。この「領域」を今後は **Gebiet** と呼ぶことにしよう。

Gebiet, **Rand**, **Grenze** の三つの基本概念に基づいて、再度 (f) と (g) を見直してみる。(f) でも (g) でも涙は目にたまり、溢れて外部へと流れ出ている。しかし、(f) では涙が **Gebiet** (目) の外部へと溢れ出ることが強く認知されるため、いわゆる「へり」は **Grenze** として認知される。そして、このために前綴り **über** が自動的に分離動詞の接頭辞として選択されると考えられるのである。

これに対し、(g) で強く認知されるのは、目を越えて溢れ出る涙ではなく、顔にある涙である。涙は **Gebiet** (顔) 内にとどまり「へり」を越えないのであるから、ここでは「へり」が **Grenze** として認知されることはない。そして、その結果として前綴り **über** は自動的に非分離動詞の接頭辞として選択されると考えられるのである。

以上の考察により、前綴り **über** が分離動詞の接頭辞として選択されるか、あるいは非分離動詞の接頭辞として選択されるかは、対象の **Rand** / **Grenze** との認知的な係わりによる認知と直接的な関係があると言うことができる。すなわち、母語話者は「いわゆる「へり」が **Grenze** として認知される場合には分離動詞を選択し、認知されない場合には非分離動詞を選択する」という意味的な基準に従って前綴り **über** の分離・非分離を使い分けていると推論できる。

3 Grenze が認知される場合（分離動詞）の前綴り über の意味分析

3.1 「超過」の概念が伴う前綴り über

本稿では 2.2 において、「超過」を「液体が容器の許容限界を超えて「へり」を越えること」と定義した。Gebiet, Rand, Grenze の係わりで液体と容器の関係を見た場合、容器は Gebiet であるから、「へり」が Grenze として認知される際の最も具体的な例は、対象である液体が容器の「へり」を越えることになる「超過」であろう。

(1) Das Benzin läuft aus dem Tank über.

(ガソリンがタンクから溢れる。… 小)

(2) Die Milch ist übergekocht.

(ミルクが吹きこぼれた。… 小)

文例 (1), (2) は液体が過量となった結果「超過」する。すなわち、液体が Gebiet の「へり」を越えることが強く認知されるため、「へり」は Grenze として認知され、分離動詞が選択されている。Lakoff(1987) の言う、液体が容器を垂直に上昇し、ついに容器の高さを超えて外部へと溢れ出るという状況は「へり」が Grenze として認知される際の一例にすぎないことになる。

ここで、分離動詞に十分に対応した日本語訳が使われているかどうかについて見てみよう。分離動詞は前部である前綴りとそれに続く後部である基幹動詞からなる複合動詞である。複合動詞とは『動詞を後部要素として、これに動詞、または他の品詞が複合してできた動詞。』（広辞苑第5版）であるとされている。したがって、日本語訳としては、前部である über の「超過」の意味と後部に続く基幹動詞の意味の内容が同時に含まれるような訳が当てられていなければならない。

まず、(1) の「溢れる」について見てみよう。「溢れる」は広辞苑第5版では『1) いっぱいになって外に出る。2) 中に入りきれずに外に出てくる。3) 満ち満ちている。』、言泉第1版では『1) 水などがいっぱいになってこぼれる。2) こぼれるかと思われる程にいっぱいになる。』、大辞林第1版では『1) 液体が容器や池・川などにいっぱいになって上の方からこぼれる。2) 人や物が入りきらずに外に出る。3) 物が必要以上にたくさんある。4) 才知・気力・感情などが満ちている。』と説明され、いずれも「溢れる」には二つの異なる意味が混在していることを示している。すなわち、一つは液体がいっぱいになって外に出る意味であり、「へり」を超えて Gebiet の外部へと出る、本稿で定義する「超過」を表している。しかし、もう一つは液体が外に出ず Gebiet 内にとどまる（とどまっている）意味であるため、「超過」をではなく「滞留」を表していると言える。分離動詞 überlaufen の場合、いっぱいになった液体は Gebiet の外へ出ていかなければならないのであるから、「滞留」をも同時に含むような語を訳語として当てるのは好ましくない。外に出ていくことを明確に示すために「出る」を用い、「溢れ出る」という複合動詞を当てて「ガソリンがタンクから溢れ出る。」と訳せば、「超過」した液体が Gebiet の外へと出ていくこと、すなわち「へり」が Grenze として認知されるという意味内容が適確に表されることになる。

次に、文例 (2) の「吹きこぼれる」という訳であるが、この表現は適切であると考えられる。ここで、「吹く」または「こぼれる」のどちらか1語の動詞のみで訳されている場合を考えてみよう。「吹く」は『1) 空気が流れ動く。2) すぼめた口や、口にあてた細い物を通して息を勢いよく出す。3) 息を出して楽器を鳴らす。4) 内部にあるものを勢いよく外に出す。(5) 以下は省略。』(例解新国語辞典第5版)と説明されている。これらの意味説明のそれぞれには、「風が吹く」、「炭を吹いて赤くする」、「楽器を吹く」、「芽を吹く」といった例が付されており、対象については、「へり」が Grenze として認知されるような状態で Gebiet 内部から外部へと出ていくことが必ずしも明瞭ではない。一方、「こぼれる」は『1) 中に入っている液体や小さな粒状のものなどが、溢れたりして外へ出てしまう。2) 中から溢れてくるように、自然に外に出る。』(例解新国語辞典第5版)という意味である。意味の説明文中に「溢れたりして」または「溢れてくるように」とあることから分かるように、「こぼれる」にはあるものが外に出るという共通の概念があるものの、液体は必ずしも「超過」によって Gebiet の外へと出るとは限らないのである。überkochen という複合動詞は、液体がまず沸き立って膨張し、ついに Gebiet を「超過」して外へと出ていくという意味内容を示す。したがって、「こぼれる」一語ではドイツ語に対応した適訳にはならず、結局、『やかんの湯やなべの汁などが沸騰して勢いよく溢れ出る』(例解新国語辞典第5版)という意味内容を表す「吹きこぼれる」という複合動詞を当てることによって初めて、より適切に überkochen に対応した訳になると言える。

日本語とドイツ語は統語論的にも意味論的にも、少なくとも表層上は異なる体系をもつ言語であるから、ドイツ語で接頭辞 über と基幹動詞から複合動詞が成り立っているからといって、対応する日本語も複合動詞で対応できるとは限らない。しかし、訳語には前部の意味と後部の意味の両方が含まれ、かつ「へり」が Grenze として認知されたことが分離動詞の選択につながったのだと理解できるようなものが当てられる必要がある。そうしなければ、両言語の意味内容の連結関係がとぎれてしまい、第二言語としてドイツ語、または日本語を学習する者に語の使用の意味的な規準、すなわち、母語話者がどのような過程を経てその語を選択したのかという語の使い分けの基準が理解されないことになる。日本語、ドイツ語に限らず、複合語がわざわざ使用されるときとは、単一語にはない意味内容がそこに含まれるときであるのが一般である。したがって、ドイツ語が複合動詞の形を取っている場合に、日本語訳でも該当する語に複合動詞の形が作れるかどうかを検討することは、外形的な表現だけでなく、認知の過程を正しく伝えるためにも大切な作業であると言える。

3.2 「越境」の概念に伴う前綴り über

同じ液体と容器の関係でも、文例 (3), (4) のように「超過」の定義に完全には合致しない Grenze の認知もある。

(3) Er hat mir einen Eimer Wasser übergossen.

(彼は私の頭からバケツ一杯の水を浴びせた。… 小)

(4) Ich habe mir den Kaffee übergeschüttet.

(私はコーヒーをこぼした。… 小)

文例 (3) では水が Gebiet (バケツ) の内部から外部へ, (4) ではコーヒーが Gebiet (カップ) の内部から外部へと流れ出る。この過程は文例 (1), (2) と同じであるから, それぞれの「へり」が Grenze として認知されて分離動詞が選択されている。異なる点は, (3) では彼によって, (4) では私によって Gebiet の内部から外部へと液体が人為的に出されることである。液体は容器の許容限界を超えて外部へと出てはいるが, この許容限界は人の意志によって作られたものである。そこで, この「設定された許容限界を液体が越えさせられる」状況を, 本稿では「越境」と定義することにする。すなわち, 文例 (3), (4) では液体は「越境」の概念により, 「へり」が Grenze として認知されるのである。

「越境」は「超過」の別の形の認知概念であり, 「超過」と「越境」は「へり」が Grenze として認知される点で互いに連結していることになる。

再び日本語訳について見てみよう。文例 (3) では übergießen の日本語訳に「浴びせる」が当てられている。「浴びせる」は『湯・水などを他人や物に注ぎかける。』(広辞苑第5版) という意味である。複合動詞には複合動詞で意味的に対応させることを基本に考えると, 訳として選択する語としては, この「浴びせる」の意味説明文の中にある「注ぎかける」という複合動詞の方が好ましいと言える。しかし, 「注ぐ」は『水が流れ込む。雨などがふりかかる。液体を流し込む。』(例解新国語辞典第5版) ことであり, 「浴びせる」に比べると, 相手に向かっていくという概念に乏しい。例えば, 「罵声を浴びせる」とは言えても, 「罵声を注ぐ」とは言えないのである。そこで, 「浴びせる」と「かける」を一緒にした複合動詞「浴びせかける」を採用し, 「彼は私の頭からバケツ一杯の水を浴びせかけた。」という訳を当てた方が, よりドイツ語の意味内容が適確に伝達される訳語になると思われる。

一方, 文例 (4) では überschütten に「こぼす」が当てられている。「こぼす」は『水・涙などを溢れ出させる。』(広辞苑第5版) ことである。ここでもまた複合動詞で訳を対応させることを考慮すれば, 「こぼす」はその意味の説明文の中にある複合動詞「溢れ出させる」に置換可能である。この語を日本語としてドイツ語文の訳語に使用するのは, 日本語話者の感覚としては多少中間言語的であり, こなれた表現の日本語とは言えない面がある。しかし, 「こぼす」に比べてぎこちなさが残るとしても, 「私はコーヒーを溢れ出させた。」という複合動詞の表現にした方が, 「へり」が Grenze として認知されていることがより適確に伝達された, 意味の内容にも立ち入った訳語になると言えよう。したがって, 文例 (4) は (4)' のようにして訳を並記して挙げると, より意味内容の理解しやすい表示となる。

(4)' 私はコーヒーをこぼした。(私はコーヒーを溢れ出させた。)

3.3 「移行」の概念が伴う前綴り über

「越境」が前綴り über を分離動詞として選択する意味的な基準となるのであれば, 次の (5), (6) のような文例において前綴り über が自動的に分離動詞として選択されることにも十分な説明がつけられる。

(5) Er ist zum Feind übergelaufen.

(彼は敵にまわった。…研)

(6) Er ist zum Katholizismus übergetreten.

(彼はカトリックに改宗した。… 小)

文例 (5) と (6) では, Gebiet を出ていく対象は液体ではなく人である。文例 (5) では今までの Gebiet (属していたグループ) から新しい Gebiet (敵であったグループ) へ彼は所属を変える。また, 文例 (6) では, 彼は今まで所属していた Gebiet (ある宗教) から新しい Gebiet (カトリック) に宗旨, つまり所属を変える。これらは人の「所属域の越境」であると考えることができる。これらの文例が前節の「越境」と異なる点は, 人が自分の意志で自ら Gebiet を越え出ていることである。そこで, ここではこの「設定された許容限界(所属域)を自らが超えて出る」状況を「移行」と定義することにする。この「移行」では, 人は実際にある場所からある場所へと移動するのではなく, 人の所属に関して「移行」が見出されるのである。すなわち, 人はある者が Gebiet である所属域の「へり」を越えて別の所属域に出ていくという点において, 「へり」を Grenze として認知することになるのである。

この「移行」の定義は, 一見液体と容器の関係から逸脱するようにみえる。しかし, 液体は一般に Gebiet 内部から外部へと越え出た後で, 再び元の Gebiet に戻ることはない。人の「移行」についても同様である。今までの所属域を越え出て別の所属域に「移行」した人は, 敵方についても, 宗旨を変えても, 自らの所属域を変えるのであるから, 一般には再び元の所属域に戻ることはない。したがって, この, 再び元の Gebiet には戻らないという点に関して, 「移行」は液体と容器の関係に合致していると言える。

ここから, 権域, 領域に関する「移行」もまた, 「超過」, 「越境」と意味的に同一水準に属する概念であると考えることができる。

さて, 日本語訳についてであるが, 文例 (5) の überlaufen には「(敵に)まわる」が, (6) の übertreten には「(カトリックに)改宗する」が当てられている。それぞれの文例の言い回しは日本語ではごく一般に使用される言い方であり, そのままで, ある者が味方を見限り敵方の所属域に入り込むことが, また, 今までの宗教を見限って別の宗教領域に入り込むことが理解される。したがって, 複合動詞が使われていないにも係わらず, 日本人にはこれらの言い回しに伴う「移行」の概念が十分に把握できる。これは日本語の助詞「に」に, あるものの権域が及ぶ範囲を示す働きがあるためであると考えられる。例えば, 「山に登る」は日本語教育事典(1982)では, 行き先を表す「に」と説明されているが, 意味論的には人がある場所から山の権域下へと所属を変えることを示していると言える。また, 同事典では「東京に住んでいる」の「に」は存在場所を示す「に」と説明されているが, これも意味論的には東京のさまざまな力が住んでいる者に及ぶことを示しているのである。

しかし, それでもなお, 複合動詞の訳を当てる工夫をする必要がある。なぜならば, 我々日本人には意味的な構造とその使い方が明瞭でも, 第二外国語として学習する者には必ずしもはっきりとした提示となっていないことも多いからである。例えば, 文例 (5) の「(敵に)まわる」を見てみよう。「まわる」は『別の位置・立場に移る』(大辞林第1版)と説明され, 例文には「敵にまわる」だけでなく, 「裏方にまわる」, 「背後にまわる」などの例が挙げられている。これらの文例の意味的な内容は異なっており, 辞書の説明からだけでは, 「移行」に伴う概念が正確には把握できない。「敵にまわる」とは, 敵方の権域に「入り込み」, そこから「出ない」ということであるから, 「彼は敵方に入り込んで, 再び出な

い。」という訳を当てると、Gebiet である所属域の「へり」が Grenze として認知されたことが明確に表されるだけでなく、意味内容に深く立ち入った表現になる。文例 (6) の「改宗する」も、文例 (5) と同様にして「入り込む」を利用し、「彼はカトリックに入り込んでそこから再び出ない。」という訳を当てれば、所属域の変更と変更後は元には戻らない状況であることがより明確に表されることになる。

以上から、文例 (5) は (5)' のように、文例 (6) は (6)' のようにして訳を並記させるとより適切であろう。

(5)' 彼は敵にまわった。(彼は味方から敵方に入り込んでそこから再び出ない。)

(6)' 彼はカトリックに改宗した。(彼は今までの宗教からカトリックに入り込んでそこから再び出ない。)

4 Grenze が認知されない場合 (非分離動詞) の前綴り über の意味分析

4.1 「被覆」の概念が伴う前綴り über

対象と Grenze との関わりが強く認知されない時、前綴り über は自動的に非分離動詞として選択される。既に見たように、「へり」はもともと Gebiet に属するものであるから、Rand が認知されるとは、対象が Gebiet を越えずに内部にとどまっているありようが認知されるということになる。

Gebiet と Rand の係わりで液体と容器の関係を見た場合、対象である液体が Gebiet の「へり」を越えて出ていかずに Gebiet 内にとどまるのであるから、Gebiet は何らかの形で液体に覆われている、つまり、液体に「被覆」されている状態にあると言える。

(9) Das Wasser überfloßdie Felder.

(畑が水浸しになった。…小)

(10) Tränen überströmten ihr Gesicht.

(涙が彼女の顔に溢れた。…三)

(11) Er übergießBraten mit Soße.

(彼は焼き肉にソースをかけた。…小)

(12) Er hat mich mit einem Eimer Wasser überschüttet.

(彼は私にバケツ一杯の水をかけた。…小)

文例 (9) では水が畑の上に、(10) では涙が顔の上に、(11) ではソースが焼き肉の上に、(12) では水が私の上にある。それぞれの液体は、ただ Gebiet を越えないということを示しているだけではない。接頭辞 über を伴うことによって、液体が Gebiet を覆っているという意味的な内容が示され、畑、涙、焼き肉、私のすべてが液体によって「被覆」されている状態にあることを提示している。すなわち、über が非分離動詞の接頭辞として選択される場合、液体が Gebiet を覆う「被覆」が最も基礎となる概念であると言える。

したがって、日本語訳でも前綴り über に含意されるこの「被覆」の概念が伝えられていなければならない。文例 (9) では :uber に「水浸しになった」という訳が当てられている。「水浸し」とは『すっかり水につかること』(広辞苑第5版)を意味するので、烟が水に覆われていることが伝えられている。しかし、「覆う」という語を使い、「水が烟を覆ってしまった。」(英語の現在完了形に対応)という訳を当てた方が、水が Gebiet にとどまって覆っている「被覆」の概念をより明確に伝えることになる。

文例 (10) には「溢れる」という訳語が当てられている。既に分離動詞の訳語で見たように、この語には二義性があり、液体が内部にとどまり外部へ出ないという意味と、液体が内部にとどまりきれずに外部へと出るという意味を持つ。したがって、分離動詞としての訳語だけではなく、非分離動詞の訳語としても不適当である。涙は Gebiet (顔) にあり、そこを覆っているのであるから、「涙が彼女の顔を覆ってしまった。」という訳語を当てるほうが非分離動詞である前綴り über の意味内容をより明確に伝えていると言える。

また、(郁)には“Ihr Gesicht war von Tränen überflossen.”という文例があり、日本語訳には「彼女の顔は涙にぐっしょり濡れていた。」が当てられている。「ぐっしょり」は『ひどく濡れているさま』(広辞苑第5版)であるから、濡れている程度がはっきり示され、状態の様子は単に「濡れる」より明瞭と言える。しかし、程度を示すよりもむしろ「覆う」という語を採用し、「彼女の顔は涙で濡れて覆われていた。」のようにした方が、より非分離動詞が選択された意味が明確になると思われる。「ぐっしょり」や「すっかり」と言った程度副詞を使って覆われる程度や様態を示すことは「被覆」の程度が詳細に伝達されるが、本来的には不必要な語である。まず第一にしなければならないことは、前綴り über がなぜ非分離動詞として選択されるのかという über の分離・非分離の使い分けの意味的な規準が明確になるような訳を見い出すことである。

文例 (11), (12) も文例 (9), (10) と意味論的には同様に考えなければならない。(11) の übergießen にも、(12) の überschütten にも「かける」が当てられている。「かける」は『1) かぶせる。覆う。2) 撒きそそぐ。あびせる。(3) 以下略』(広辞苑第5版)の意味であり、意味内容としては「覆う」が既に含まれていると言える。しかし、(11) の訳文である「彼は焼き肉にソースをかけた」という日本語は彼の行為を伝えており、Gebiet である焼き肉の状態を伝えてはいない。文例 (12) も同様である。「彼は私にバケツ一杯の水をかけた」は彼が行った行為を示すものであり、Gebiet である私の状態を示すものではない。前綴り über が非分離動詞として選択されることは、Gebiet が液体で覆われた状態が認知されることなのであるから、その意味内容が伝達されていなければならない。したがって、文例 (11) には、日本語としてのぎこちなさはあるが、「彼はソースを注ぎかけて焼き肉を覆った」、文例 (12) には「彼はバケツ一杯の水を浴びせかけて私を覆った」といったような訳を当てた方が、前綴り über の概念により近い訳であるということになる。

したがって、文例 (11) は (11)' のように、文例 (12) は (12)' のようにして、訳を並記してあげる方がより適切であろう。

(11)' 彼は焼き肉にソースをかけた。(彼はソースを注ぎかけて焼き肉を覆った.)

(12)' 彼は私にバケツ一杯の水をかけた。(彼はバケツ一杯の水を浴びせかけて私を覆った.)

5 結論

分離・非分離を分けることになる前綴り *über* の意味的な基準を探るために、液体および容器に関する語を取り上げ、*Gebiet*, *Rand*, *Grenze* の関係の認知意味論的な意味分析を行った。その結果、液体と容器に係わる、*über* を前綴りとする複合動詞は日常的な意味での「へり」が *Grenze* として認知される場合には分離動詞が、認知されない場合には非分離動詞が選択されるという意味論的な原則が分析、抽出できた。

また、*Grenze* が認知されるとは、対象が *Gebiet* の内部から外部へと出ていくことを認知することであり、概念の基礎には「超過」があること、この「超過」を中心に互いに関連した「越境」、「移行」の意味的な内容の幅をもつことが分析できた。同時に、*Rand* が認知されるとは、対象が *Gebiet* の内部にとどまっていることを認知することであり、概念の基礎には「被覆」があることも明らかにできた。

更に、ドイツ語の日本語訳にも目を向けた。*Gebiet*, *Rand*, *Grenze* の関係を機軸にした母語話者の分離・非分離の使い分けの意味的な基準が十分に配慮された訳の重要性について検討を加え、原語の意味の認知的な連結関連がとぎれないような配慮が、第二言語を学習する者にとって必至であることが提案できた。既に述べてきたことではあるが、日本語としてこなれた訳が必ずしも分離・非分離の使い分けの意味的な内容を伝えるとは限らない。

一般にある言語を学習する者にとって、学習言語に特有の、いわゆる気の利いた表現が使いこなせるようになることは、言語学習の大きな目標の一つではある。しかし、そのためには、まずある語が選択される条件を正しく理解し、その意味的な内容が正確に理解できるように努めなくては、結局、母語話者が首をかしげるような語の誤用が起る。これを避けるためには、多少のぎこちなさや中間言語的な表現を使っても、語に伴う意味内容が理解でき、なぜその語がその場所で選ばれたり使用が許されたりするのかといった、基本的な使用条件（概念）が理解できるような意味内容を込めた訳語を当てる努力が必要である。

本稿のごく基本的な分析においてさえ、認知意味論的な意味分析の手法は、分離・非分離の使い分けの複雑に見える意味的な基準を単純化して明瞭にする。今後はこの手法による分析範囲を更に広げ、これによっては前綴り *über* の言語現象が説明できない場合や、分離と非分離を使い分ける前綴り一般について認知意味論的な考察を続け、その意味的な構造概念を明らかにしていく予定である。

参考文献

- 1) Dewell, R. B.: Over again: Image-schema transformations in semantic analysis, *Cognitive Linguistics*, Vol.5-4, (1994), pp.351-380
- 2) Grayling, A. C.: *Wittgenstein*, Oxford University Press (1988) (『ウイトゲンシュタイン』, 岩坂彰訳, 講談社 (1994))
- 3) Hall, T.E: *The Hidden Dimension*, Doubleday & Company, Inc., New York (1960)
- 4) Kecskemeti, P.: *Meaning, Communication and Value*, University of Chicago Press

(1952)

- 5) Lakoff, George and Mark Johnson: *Metaphors We live By*, The University of Chicago Press (1980)
- 6) Lakoff, George: *Women, Fire, and Dangerous Things*, The University of Chicago Press (『認知意味論』, 池上嘉彦ら訳) 大修館書店 (1987)
- 7) Leisi, Ernst: *Der Wortinhalt*, Quelle & Meyer/Heidelberg, (『意味の構造』, 鈴木孝夫訳), 講談社学術文庫 (1953)
- 8) Miyoshi, Sukesaburo: *Neue deutsche Grammatik, verglichen mit der englischen*, (『新独英 比較文法』), 郁文堂 (1977)
- 9) Wittgenstein, L.: *Philosophische Untersuchungen*, Basil Blackwell (1953)
- 10) 国立国語研究所編:『現代語の助詞・助動詞－用例と実例－』, 秀英出版 (1987)
- 11) 齋藤倫明:『現代日本語の語構成論的研究－語における形と意味－』, ひつじ書房 (1992)
- 12) 柴田武編:『ことばの意味 1－3 辞書にかいてないこと』, 平凡社選書 47 平凡社 (1976)
- 13) 大津由起夫編:『認知心理学 3 言語』, 東京大学出版会 (1998)
- 14) 姫野昌子:『複合動詞の構造と意味用法』, ひつじ書房 (1999)
- 15) 森田良行:『基礎日本語 1－3』, 角川書店 (1977)

参考資料

- 1) Apollon deutsche-japanisches Wörterbuch, Dogakusya (1994)
- 2) Casselle's German-English/ English-German Dictionary, Cassell Macmillan (1987)
- 3) Deutsch-japanisches Wörterbuch (Zweite Auflage), Ikubundo (1993)
- 4) Grosses deutsch-japanisches Wörterbuch (Zweite Auflage), Shogakukan (1999)
- 5) Kenkyushas deutsch-Japanisches Wörterbuch, Kenkyusya (1996)
- 6) Leicht verwechselbare Wörter, Duden Taschenbücher, DUDEN (1973)
- 7) Wahrig deutsches Wörterbuch, Gmbh/Lexikothek Verlag (1981)
- 8) Wörterbuch der deutschen und japanischen Gegenwarts-Sprache, Sansyusha (1992)
- 9) Wörterbuch deutsch-japanisch Crown (Zweite Auflage), Sanseido (1997)
- 10) 言泉第 1 版, 小学館 (1987)
- 11) 広辞苑第 5 版, 岩波書店 (1998)
- 12) 大辞林大版, 三省堂 (1988)
- 13) 日本語教育辞典, 大修館書店 (1982)
- 14) 日本語百科大事典, 大修館書店
- 15) 例解新国語辞典第 5 版, 三省堂 (2000)

Cognitive Intention of Separable and Inseparable Compound Verbs in German
– Analyses on the Prefix Über –

Toshiaki Waragai and Akiko Takeda

The prefix "über" in German makes separable and inseparable compound verbs. The aim of this study is to analyze the cognitive intention in the native speakers' choice. Compound verbs concerning liquids and its containers were selected due to the fact that these examples can clearly illustrate our thesis (aim).

By analysing liquids and its container, we extracted three images of Gebiet, Rand and Grenze determine the cognitive rules. It became clear from the results that separable compound verbs were selected when Grenze was recognized, and inseparable compound verbs were selected when Grenze was not recognized.

In addition, we determined that the separable prefix "über" had the image of "excess" and the inseparable prefix "über" had the image of "cover" in the users.

Moreover we concurrently compared German with Japanese examples and proved that the most important point in proper translation is to express the most exact cognitive intention.

Cyclotron Development at the Institute of Physical and Chemical Research in the 1930s

Shizue HINOKAWA*

Abstract

This paper deals with cyclotron development at Japan's Institute of Physical and Chemical Research during the 1930s. It discusses how the Nuclear Research Laboratory was established and financed, the technology that made the 23-ton cyclotron feasible, the level of research accomplished using this cyclotron, and the roles played by the Japan Society for the Promotion of Science and the Japanese electronics industry in developing a 60-inch cyclotron.

The discussion clarifies two points in particular. First, Japan's nuclear research program made notable progress only when it became possible to produce the research tools entirely on the basis of domestic technology, as was the case with the 26-inch cyclotron. Second, during this decade there was a very pronounced expansion in the scale of scientific research, which was accompanied by fundamental changes in the nature of science and its relationship to society. This was one of the crises that science faced at the time. In response to this crisis, research tools came to be utilized jointly, which encouraged researchers to organize, thereby making scientific research a social activity.

The appearance of the cyclotron, a device for producing high energy charged particles, made the 1930s a very active period for laboratory research in nuclear physics. In 1950 the Japanese physicist Seishi Kikuchi published his recollections of the situation at the time:

by the end of the 1920s, quantum mechanics had been established and, to some extent, solutions had been found for questions outside the nucleus. At last, mainstream theoretical physics was beginning to concentrate on elucidating

*Shizue Hinokawa is Professor of History of Science and Technology at Takushoku University, Tokyo, Japan. This article was originally published as "1930 nendai Rikagaku Kenkyujo ni okeru saikurotoron no kaihatsu shi" in *Tokyo Kogyo Daigaku Jinbunronso* (Humanities Review of Tokyo Institute of Technology), no. 6 (March 1, 1981): 141-56. Translated by Barbara Sugihara.

nuclear phenomena. At the time, however, there was not enough empirical data about atomic nuclei to provide solid foundations for theoretical development. Nuclear experiments mainly involved radiation from materials having natural radioactivity, which was not only of weak intensity but also had limited energy (quantum energy)....

At just about that time, the cyclotron was invented.... Thus, from the latter half of the 1930s into the early 1940s, the cyclotron became the primary tool for the exploration of nuclear phenomena, and it led to many important discoveries.¹⁾

In Japan, too, full-scale experimental research in nuclear physics began with the development of cyclotrons. A brief recapitulation of Japanese cyclotron development and utilization at the Institute of Physical and Chemical Research (IPCR) was published by Asao Sugimoto in 1951, but it is little more than a contemporary researcher's reminiscence and fails to place Japanese cyclotron development and nuclear research within the context of the times.²⁾

This paper will examine Japanese cyclotron development and nuclear research within the framework of global progress in the field, and especially with reference to the historical setting that existed in 1930s Japan. Through an assessment of the financial resources that were applied to cyclotron development, I will shed light on how the contemporary social system supported nuclear research as "purely theoretical study." At the same time, I will analyze the technology that was available to Japanese nuclear scientists, thereby clarifying the close relationship between progress in production technology and the materialization of the cyclotron. Only after examining these factors can nuclear research utilizing the cyclotron in 1930s Japan be placed in historical context.

Establishing and Financing the Nuclear Research Laboratory

At the meeting of the International Research Council's session on Scientific Radio Telegraphy held in Brussels in 1928, Hantaro Nagaoka quickly discerned the global trend toward research on the conversion of elements. The following year he reported on the state of nuclear research in various countries:

At Cambridge, they have built a 600,000-volt transformer and are about to start experiments to extract electrons from matter. In Pasadena, they are experimenting with creating X-rays at 750,000 volts. In Washington, [Gregory] Breit and [Merle A.] Tuve have set up a 5,200,000-volt transformer in compressed oil

and say they are trying to disintegrate atoms. And although he does not say so, it is clear from the process of [William David] Coolidge's research that a cathode ray tube will be useful to transform the elements, after all.³⁾

Yoshio Nishina, who returned from study in Europe in 1928, was entrusted with fulfilling Nagaoka's hopes for full-fledged nuclear research in Japan. The first steps were taken at the quasi-government Institute of Physical and Chemical Research, where research teams under Shoji Nishikawa and Nishina jointly set up a nuclear laboratory in 1935. At the time, IPCR was said to have a research budget beyond all comparison with the national universities, but according to Nishina, even with this generous financing, the new laboratory could not have been established without outside contributions, which came from several sources. A fund for setting up and operating the laboratory was created by the Mitsui Ho-onkwai Foundation and Tokyo Electric Light Company. Electromagnets, electric generators, and accessories were donated by the Japan Wireless Telegraph Company, through Nagaoka.⁴⁾

Detailed examination of the Mitsui Ho-onkwai Foundation, which provided substantial, on-going fiscal support for development of both the small and large cyclotrons, sheds light on the nature of the funding that was made available for cyclotron development. The prospectus of the Mitsui Ho-onkwai Foundation issued in March 1944 indicates that the foundation was established with a basic endowment of ¥30 million by decision of a general meeting of the board of directors of the Mitsui Zaibatsu on October 31, 1933. This move was closely related to a major restructuring of the Mitsui Zaibatsu that had been undertaken the previous month. As one historian has noted, this restructuring was designed "to enhance the zaibatsu's capital holdings while simultaneously adapting to national policy. By entering and developing the weapons industry, firms like Mitsui, Mitsubishi, and Sumitomo extended their monopolistic supremacy, and their interests strongly influenced national policy."⁵⁾

On February 13, 1934, Mitsui submitted applications to establish the foundation to the Ministers of Home Affairs, Education, Agriculture and Forestry, and Commerce and Industry. Permits were issued on March 27, and registration procedures completed on April 5. The 1944 prospectus states that Mitsui had established the foundation because:

Many people awaited the progress of social projects that had as their aim the sound development of society and the interests of the public. Cultural improvement and advancement is the most important element in enhancing and extending national power, but in Japan, such projects were not yet achieving satisfactory results. We felt that promoting them was becoming increasingly urgent and essential as the fortunes of our nation rose. In view of this, we established the Mitsui Ho-onkwai Foundation to provide grants for, and to plan and execute, projects benefiting society and the public, as well as for projects of a

cultural nature. To this end, we have gradually expanded our programs, aiming to fulfill our long-cherished ambition to benefit the nation in the spirit that has been a Mitsui tradition since the company was founded.⁶⁾

Clearly, the zaibatsu capitalists of the day felt that cultural advancement was essential to enhancing and expanding the strength of the nation and that an organ was needed to encourage projects that benefited society and promoted culture. At the same time, enhancing and extending national strength necessarily meant developing and maintaining high engineering standards, which implied improving and expanding scientific research that could provide the foundations for technological advancement. The Nuclear Research Laboratory at IPCR materialized under these circumstances.

Nagaoka was among the 20 trustees of the Mitsui Ho-onkwai Foundation and also a member of the committee that screened grant applications. In 1935, the Mitsui Ho-onkwai Foundation, presumably under considerable influence from Nagaoka, awarded IPCR a three-year grant totaling ¥150,000 for “the artificial conversion of elements and study of their radiation,” which the foundation felt “deserved to be started because of its great importance but had not been undertaken because it was too costly.”⁷⁾ This seems to have been an important source of funding for the development of the small cyclotron.⁸⁾

The Mitsui Ho-onkwai Foundation continued to support cyclotron research even after responsibility was transferred from IPCR to Subcommittee 10 of the Japan Society for the Promotion of Science (JSPS), which received Mitsui grants of ¥10,000 in 1939 and 1940 for development of a large cyclotron. It should be noted that Tokyo Electric Light Company also contributed ¥100,000 when the Nuclear Research Laboratory was set up, although the details of this transaction are unknown. Thus we see that financial support for the establishment of the Nuclear Research Laboratory and development of a small cyclotron was provided by the private sector, not by a government foundation for the promotion of science.

Technological Foundations for the 23-Ton (Small) Cyclotron

Nishina once said that cyclotron development depended “firstly on the progress of electrical engineering, and also on the development of vacuum technology.”⁹⁾ Advances in vacuum technology, however, were closely tied to the electronic tube industry, as is clearly demonstrated by the way C. R. Burch’s 1928 invention of the oil diffusion pump at the Metropolitan-Vickers Electrical Company in England, facilitated production of the 500kW vacuum tube. In short, cyclotron development in the 1930s depended on technological foundations that came with the development of the electronics industry, including the electronic tube industry.

At IPCR, one of the main items on the opening agenda of the Nuclear Research Laboratory when it was established in 1935 “was the erection of a large cyclotron with an electromagnet weighing at least 100 tons,” and at the time, developing a small cyclotron using a 23-ton electromagnet was considered a preliminary step.¹⁰⁾ But, as will be made clear later, a 23-ton cyclotron was the limit to what could be developed given the Japanese electronics industry’s technological level and orientation to meeting military demand in the 1930s. A great deal of time was needed to complete the 100-ton cyclotron that was so important to Nishina and his associates.

Before discussing cyclotron development per se, however, I would like to examine the underlying technology that was then available, with specific reference to the SN-167 oscillating tube, which was important to forming high-frequency electric fields, and the automatic voltage regulator using a cathode ionization tube with a grid, which played an important role in increasing the intensity of accelerated particle beams.

Progress in short-wave radio communication and development of the SN-167 tube: The 23-ton cyclotron was developed and constructed in less than two years, which was a relatively short time. The key expediting factor seems to have been that it coincided with the great turning point when long-distance radio communication switched from long- to short-wave technology, enabling cyclotron development to draw on both new and old technologies. Specifically, the Poulsen arc generator used for long-wave radio communication had an electromagnet that facilitated creation of the homogeneous magnetic field needed for the cyclotron, and the oscillating tube developed for short-wave radio communication made it possible to create high-frequency electric fields for accelerating charged particles.

Nishina described how these technologies were adopted at the Nuclear Research Laboratory: “The electromagnet was originally used for a Poulsen arc generator at Haranomati Station of the Japan Wireless Telegraph Company. For our purpose it was necessary to change the poles and the coils so that the latter are placed symmetrically on both sides of the gap. The work of reconstruction was done by the Shibaura Engineering Works.”¹¹⁾ In the meanwhile, the oscillator considered necessary to create a high-frequency accelerated field of about 10Mc was built by the Tokyo Electric Radio Company. It had “two SN167 tubes rated at 15KW each...used in a push-pull, tuned grid-tuned plate circuit.”¹²⁾

The SN-167 tube was a product of Japanese electronics engineering, but before looking at how it came to be developed, we need to examine the state of radio communications in Japan. Between about 1925 and 1930, when the world was focusing on the superiority of short waves for long-distance communication, Japan was completely dependent on foreign short-wave technology. The country’s first short-wave transmitter, made by a French firm, SFR, was installed at Iwaki-Tomioka, Fukushima Prefecture, in 1928. A 40kW short-wave

transmitter was later imported from the Radio Corporation of America and installed at Yosami in Aichi Prefecture in time for the London Naval Conference in 1930.

Yoshio Imaoka of Tokyo Electric Company, who developed the SN-167 tube, be-moaned the situation: "To this day, regrettably, all the equipment, regardless of frequency, at Japan's so-called....powerful transmission and broadcasting stations is imported."¹³⁾ So when Japan Wireless Telegraph Company, which had had exclusive responsibility for installing, maintaining, and upgrading the equipment, and Tokyo Electric Company, which had been receiving technical and financial assistance from the major American electronics manufacturer General Electric, agreed to jointly develop the first domestic transmission tube for short-wave communication, it was "a major milestone for Japanese radio."¹⁴⁾ This project also received a grant from the Ministry of Commerce and Industry (Industrial Research Promotion Directive No.1536), making it literally a national project.

Through this cooperative effort, in late 1929 Japanese engineers completed the 20-KW, water-cooled SN-167 short-wave transmission tube. It was promptly adopted in October 1930 for the radio station set up at Oyama, Tochigi Prefecture, for communication with the South Pacific and other parts of the Far East.

Clearly, development of the 23-ton cyclotron at IPCR was contemporaneous with the Japanese electron tube industry's extrication from total dependence on foreign technology. The SN-167 oscillation tube, developed for short-wave radio communication, symbolized Japan's relative independence in this field and was the key to successful development of the small cyclotron.

Note should be taken, however, that behind the relative independence gained by Japan's electron tube industry lay an awareness of the wartime importance of radio communication technology. As one observer has noted: "Out of military necessity, research was begun early on vacuum tubes, encouraging the development of transmission tubes, which were researched far more than reception tubes for civilian use."¹⁵⁾ What is more, in 1934 the radio division of Tokyo Electric Company was made into an independent firm, Tokyo Electric Radio Company. It is ironic, however, that the need to meet military demand that contributed indirectly to Japan's early cyclotron development seems to have later become a major factor impeding development of a larger cyclotron.

Automatic voltage regulator using a cathode ionization tube with a grid: Tameichi Yasaki, who worked with Nishina on cyclotron development at IPCR, described difficulties encountered with the beam intensity of the cyclotron:

The first problem in operating the cyclotron is that the strength of the magnetic field is not stable. Consequently, the motion of ions and high-frequency

voltage do not synchronize, so in the laboratory, the number of ions that are constantly irradiating the elements is not constant. This was a major drawback of the cyclotron that I saw at the University of California.¹⁶⁾

The appearance of the automatic voltage regulator using a cathode ionization tube with a grid opened the way to surmounting this problem with the beam intensity of the cyclotron. By keeping excitation current fluctuation within 0.3%, it facilitated the creation of ion beams of homogeneous intensity. Yasaki recognized its usefulness for nuclear experiments and said that he “planned to pass on the information to Ernest Lawrence at the University of California at Berkeley, as well as to other labs that were on the verge of, or already, operating cyclotrons.”¹⁷⁾

The automatic voltage regulator using a cathode ionization tube with a grid was developed at the Ministry of Communications’ Electrotechnical Laboratory (Section 3), under the leadership of Masakazu Takahashi, who published a description of the device in 1935:

The automatic voltage regulator adjusts to fluctuations in voltage, activating a regulatory mechanism so as to keep the necessary voltage constant at all times. In the past, the main means of doing this have been mechanical...Because the regulating mechanism in a device using a cathode ionization tube with a grid is electronic, rapidity and precision can be obtained. Under the best conditions, we have obtained voltage fluctuation ratios of less than $\pm 0.1\%$.¹⁸⁾

According to Takahashi, the opportunity to work on this device was first presented in 1925, when research was begun on a “static transformer controlled by a mercury arc,” the aim of which was to obtain alternating current from direct current to facilitate direct-current electric power transmission. This research led to the creation of a glass mercury rectifier with a grid in 1927. The group had difficulty achieving their initial goal because “the maximum electric arc that could be directly shut out by the grid was about 1A. The voltage applied to the grid of the first device was gradually raised. In the end, $-8,000\text{V}$ was applied for an extended period, eventually breaking the grid and ending the experiment.” But from these difficulties “it became clear that although the electric arc could not be shut out directly, the device’s capacity to prevent the electric arc from occurring would make it a useful control method if applied to alternating current voltages, meaning that it could be used as a two-way switch or a circuit breaker.”

Takahashi was convinced that a hot cathode discharge tube would have the same properties as the mercury cathode type, and sometime in the spring of 1929 his team began studying hot cathode discharge tubes filled with neon gas. Here, however, they ran into difficulties: “When the tube was finally filled with the proper amount of gas and the desired properties had been obtained, the experiment was begun. But within just a few minutes,

the filament broke, leaving us completely stymied.” What is more, A. W. Hull published an article on his thyratron research at General Electric. Under the circumstances, Takahashi and his colleagues decided they should stop occupying themselves with hot cathode discharge tubes, which they were unaccustomed to, and devote their energy to researching regulators using a mercury tank. A voltage regulator, in particular, was something they had already been thinking about for a couple of years, and in 1929 they reworked their plans, beginning experiments relating to a 35kVA alternating current generator for laboratory use in July 1930.¹⁹⁾

The voltage regulator that Takahashi’s team had developed independently was welcomed most in the radio communications field. A broadcasting station in Nagoya, for example, was having trouble with the direct current generator it was using as a power source for filaments. Fluctuations in power source frequency were causing velocity changes, resulting in voltage fluctuations. Takahashi’s newly perfected automatic voltage regulator was adopted for the generator with great success.

Takahashi’s device, in combination with a generator, began to replace batteries, which until then had been the only electric power source that provided steady voltage. Thus it was that, through Tokyo Electric Radio Company, the automatic voltage regulator using a cathode ionization tube with a grid came to be used for the excitation voltage regulator on the 23-ton cyclotron at IPCR. It enabled Nishina et al to report in 1938 that “the cyclotron works quite smoothly giving at present a deuteron beam of 20 to 50 μ A at 3.0 to 2.6MV. When in good conditions, it has worked for some 30 hours without interruption.”²⁰⁾

At the time, the intensity of the beam from this small cyclotron, which weighed 23 tons and had magnetic poles 26 inches in diameter, compared very favorably with the cyclotron developed by Lawrence and his associates in the United States, who were having the problems described by Yasaki. In an article published in 1936, for example, Lawrence reports obtaining a 6.3MeV deuteron beam of only a few μ A from a cyclotron with magnetic poles that were 27.5 inches in diameter.²¹⁾

Although the nuclear scientists at IPCR never achieved their ultimate goals due to difficulties in producing a large cyclotron, in the 1930s their research was up to international standards. Conceivably, a major factor in making this possible was the intensity of the beam produced by the 23-ton cyclotron, which they used to study atomic nuclei from the late 1930s to the early 1940s.

International Caliber Research Using the Small Cyclotron

One of the high points of 1930s nuclear research was the discovery that uranium atoms could

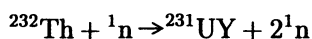
be split, which came in late 1938 through early 1939. Surprisingly enough, this discovery was made using natural radioactive material and did not involve particle accelerators. At the time, the main means of corroborating nuclear fission was by confirming the presence of barium, a product of fission. Analyzing for barium depended heavily on the radiochemical technology that had been accruing since the beginning of the century in the laboratories of Irene Joliot-Curie in France and Otto Hahn in Germany.

But once the phenomenon of nuclear fission gained general acceptance among nuclear scientists, the arena for full-scale research shifted from Europe to the United States, where a great many cyclotrons were being built. These machines could produce neutrons having intensities beyond all comparison with those obtained from natural radioactive materials.

The pace at which America was building cyclotrons can be glimpsed in an article on the current state of cyclotron construction and technology published in 1938 by Franz N.D. Kurie. In an article discussing the 60-inch cyclotron then being built at Berkeley, he refers to the cyclotrons that were already in operation at Cornell, Princeton, Michigan, Illinois, and Rochester, and also mentions that others—most of them larger—were under construction at Yale, Harvard, Chicago, Columbia, Purdue, M.I.T., Ohio State, Washington, and Indiana.²²⁾ Research was at a feverish pitch. Between January 26, 1939, when Niels Bohr reported on nuclear fission at the opening session of the fifth Washington Conference on Theoretical Physics, and mid-February that year, reports confirming nuclear fission phenomena had come from Columbia, Johns Hopkins, the Carnegie Institution in Washington, Berkeley, and other laboratories. Simultaneously, discoveries of fragments and fission products other than barium also came in rapid succession.

The geographical shift in the center of research activity undoubtedly reflects the impact of the political and social climates of prewar Europe, particularly Germany and France, on the one hand, and of the United States, on the other. At the same time, however, it also indicates that research on the atomic nucleus—humanity's most sophisticated perception of the natural world—could no longer be conducted using "empty cigar tins."²³⁾ Nuclear research had arrived at a stage where progress was impossible without enormous research funds and state-of-the-art experimental equipment. But scientists, themselves, failed to relate this aspect of what they were doing to another one: By nature, modern scientific research has repercussions that go beyond the laboratory and have immediate impact on society at large. This is essentially the issue raised by Pierre Curie in his 1905 Nobel Lecture, when he said that "...radium could become very dangerous in criminal hands, and here the question can be raised whether mankind benefits from knowing the secrets of Nature, whether it is ready to profit from it or whether this knowledge will not be harmful for it."²⁴⁾ Scientists' failure to recognize this connection was a major factor in heading American nuclear research in the direction of atomic bomb development during World War II.

Confirmation of thorium fission: In March 1938, Nishina and his associates had begun using the small cyclotron at the IPCR Nuclear Research Laboratory to irradiate lithium with several microamperes of 3MeV deuterons and bombard thorium with fast neutrons released as a result of the nuclear reaction. In the process, they studied the artificial radioactivity induced in the thorium, discovering uranium Y (actually ^{231}Th), which undergoes β -decay in a half-life of 24.5 hours. This they considered to have resulted from the reaction



indicating that the radioactive disintegration of a thorium series (4N) was converted into an actinium series (4N+3).²⁵⁾

In the course of this research, Nishina and his colleagues also measured the half-life of the radioactivity of the fission products of thorium, but due to the difficulties of chemically identifying radioactive materials, they were unable to point out the presence of the nuclear fission phenomenon ahead of European scientists. About the situation at the time, Nishina et al wrote:

We spent much time on the chemical identification of this substance. Its chemical properties were not easy to ascertain, but it was still more difficult to understand the nuclear reactions concerned. Chemical properties suggested that either “transuranic” or elements of lower atomic number than bismuth were involved, but both these alternatives were difficult to accept at that time.²⁶⁾

But once nuclear fission came to be generally recognized by researchers, Nishina and his colleagues were able to point to the presence of Bismuth, mercury, stibium (antimony), stannum (tin), and silver as fission products of thorium. In addition, they found that radioactive materials were also present in the alkali fraction, the halogen fraction, the molybdenum fraction, the selenium + gold fraction, and the copper + cadmium fraction. Their well-known report on this research, dated July 29, 1939, appeared in *Nature* under the title “Fission of Thorium by Neutrons.”²⁷⁾

In addition to this renowned discovery, from the late 1930s into the early 1940s Nishina’s group was doing at least two other sets of experiments that contributed significantly to the global progress of nuclear research.

Research pointing to symmetrical fission: For one, they used high-energy neutrons to demonstrate the existence of a more symmetrical type of nuclear fission, providing important empirical data for elucidating the mechanism of fission. About a year after their research on the fission of thorium, Nishina and his associates published two reports on their work, both dated May 3, 1940. In one, “Fission Products of Uranium Produced by Fast Neutrons,”

which appeared in *Nature*, they reported that the nuclear fission caused by bombarding uranium with fast neutrons from the small cyclotron resulted in silver and cadmium fractions. They also confirmed that indium was produced by the decay of cadmium.²⁸⁾ The other, published in *Physical Review*, was titled "Induced β -Activity of Uranium by Fast Neutrons."²⁹⁾ In yet another *Physical Review* report, dated August 10, 1940, they announced that they had confirmed the presence of palladium.³⁰⁾

Their results were confirmed at Berkeley by Emilio Segre and Glenn T. Seaborg, who published a report titled "Fission Products of Uranium and Thorium Produced by High Energy Neutrons;" it was dated December 12, 1940, and stated that they had conducted experiments using ~ 17 MeV neutrons with strong intensity produced as a result of the reaction from irradiating beryllium with deuterons accelerated to 16 MeV in the 60-inch cyclotron. In addition to confirming $^{112}\text{Pd} \rightarrow ^{112}\text{Ag}$ disintegration as found by Nishina's group, they discovered $^{111}\text{Pd} \rightarrow ^{111}\text{Ag}$ disintegration.³¹⁾

These experiments played an important role in clarifying the mechanisms of nuclear fission. R. D. Present and J. K. Knipp at Purdue had been making a theoretical study based on a liquid drop model. Up to that time, experimental evidence had indicated that it was "very improbable that the nucleus should divide into nearly equal fragments."³²⁾ Present and Knipp were, however, forced to reassess their theory after the discovery of symmetrical fission phenomena, which had begun with Nishina's group. A letter from Yasaki, who visited the United States in the autumn of 1940, also attests to the great impact that the new data discovered by Nishina and his colleagues was having on exploration of the "potential barrier" and "dynamical" models.³³⁾

Paving the way for the discovery of element 93: The other set of experiments that Nishina's group undertook related to isotopes of uranium that undergo β -decay in a half-life of 6.5 days. They proved that this isotope was ^{237}U . This enabled them to propose the radioactive disintegration of the neptunium series ($4N+1$), which had not been present in any of the natural radioactive elements. In their May 3, 1940, report in *Physical Review*, Nishina et al indicate that when they used the small cyclotron to irradiate uranium with fast neutrons, even after eliminating the products of uranium disintegration and the products of uranium fission, there was still material having β -activity with a half-life of 6.5 days in the uranium. They conjectured that this would be ^{237}U arising from the $^{238}\text{U}(n,2n)^{237}\text{U}$ reaction. They also stated that if ^{237}U is undergoing β -decay, an element with the atomic number 93 should be created. They tried to find this element, but without success.³⁴⁾

In the meanwhile, their discovery was confirmed independently by Edwin M. McMillan, using Berkeley's 60-inch cyclotron. The completion of this cyclotron enabled Berkeley's researchers to perform more refined experiments, in the course of which they also extracted

element 93, which is created when ^{237}U disintegrates. On the basis of his experience extracting the isotope of element 93 having the mass number 239 (which he did with Philip H. Abelson), McMillan extracted one having the mass number 237, which was created as a result of the β -decay of U^{237} using cerium as a carrier. McMillan's report on this research was dated June 28, 1940, and appeared in *Physical Review* under the title "The Seven-Day Uranium Activity."³⁵⁾

Nishina and his colleagues conducted their research during this period with only the small cyclotron. American scientists marveled at the results they got using 3MeV deuterons of only a few microamperes. In a letter to Nishina, Yasaki reports that McMillan expressed great admiration for their having so clearly confirmed β -decay within a half-life of 6.5 days using fast neutrons of weak intensity obtained by bombarding lithium with 3MeV deuterons. To achieve the same results, McMillan, himself, had used fast (16-20 MeV) neutrons of strong intensity, obtained by bombarding beryllium using the large cyclotron.³⁶⁾ But Nishina and his colleagues were unable to develop these studies further without their much-desired large cyclotron.

Yasaki's discussions with American scientists overwhelmed him with the power of the large cyclotron. Writing to Nishina, he was already expressing the hope that the large cyclotron under construction at the IPCR Nuclear Research Laboratory would be used to study uranium fission using protons and γ rays, as well as element 93 created from a (p,n) reaction.³⁷⁾

This cogently illustrates a point made earlier, that in modern science, the research tools that are employed determine what results can be obtained. Nishina's group included Masao Ikawa, formerly a researcher at the Asahi Glass Co., whose ability to perform advanced chemical analysis had been producing results that won the admiration of American researchers with larger cyclotrons.³⁸⁾ In the end, however, no amount of skill could make up for the difference in the capacities of the large and small cyclotrons.

In Japan, however, the large cyclotron ran into problems in the development stage. In the end, it never produced the anticipated results, for in late November 1945, both of the IPCR cyclotrons were dumped into Tokyo Bay by the American Occupation authorities. I would like to leave historiographical examination of this incident for a later monograph and focus here on the situation that was faced in developing the large cyclotron.

The Role of the JSPS in Developing the Large Cyclotron

At a meeting of the trustees of the Japan Society for the Promotion of Science on March 31, 1937, Nagaoka, then head of the Academic Research Section, stressed the need for "general

research” and explained the significance of developing a large cyclotron:

At present, experiments with element conversion are drawing global attention.... Still in its infancy, this research can not yet be applied to industry. But we do not need an expert to tell us that if these purely scientific experiments are successful, the day will come when they can be put to commercial use.³⁹⁾

After discussing the development of the small cyclotron at IPCR, he concluded:

Because [the small cyclotron] puts out only three million electron volts, it is inadequate for experimenting on all the elements. Therefore the JSPS has drawn up plans to establish a section for element conversion experiments under the subcommittee for cosmic rays, which are closely related. A reserve fund of ¥ 110,000 will be set aside to develop and install a large cyclotron that will produce over 10 million electron volts and can be applied to all the elements.⁴⁰⁾

This meant that developing a large cyclotron, which had been one of the most important items on the opening program of the Nuclear Laboratory, was no longer exclusively a project of IPCR, which depended on private foundations for funding. Bringing the project under the aegis of the JSPS, a government foundation, turned it into a joint project involving all Japan’s nuclear scientists.

Nagaoka made it clear that the project aimed to develop a large cyclotron for joint use:

Of course, it will serve scientists and medical researchers who are involved in nuclear studies. We anticipate that many specialists will visit to do experiments, so it will definitely not be for the exclusive use of the people at IPCR. I request your understanding in this regard.⁴¹⁾

It seems to be an inevitable aspect of scientific progress that development of large cyclotrons is financed on the national level and the resulting equipment is shared by many researchers. This makes it necessary to take an overall perspective in evaluating the role of the JSPS in the historical context of the 1930s.

Table 1 shows the research funds of JSPS Subcommittee 10, which had jurisdiction over the study of cosmic rays and atomic nuclei. The addition of nuclear research made the figure for fiscal 1937 especially high; of this, ¥ 110,000 was earmarked for developing a large cyclotron. This table makes it clear that although absolute expenditures increased over time, the ratio of Subcommittee 10’s expenditures to overall JSPS outlays declined steadily except for one special period.

Table 1: Expenses of Subcommittee 10

FY1934	FY1935	FY 1936	FY1937	FY1938
¥9,136.33 (5.7%)	¥ 13,335.00 (5.9%)	¥ 15,150.38 (5.1%)	¥ 127,850.00 (24.1%)	¥ 49,929.24 (6.2%)
FY1939	FY1940	FY1941	FY1942	
¥59,725.63 (5.4%)	¥ 51,542.00 (4.3%)	¥ 60,000.00 (3.9%)	¥ 56,860.00 (3.0%)	

Source : Compiled on the basis of Nihon Gakujutsu Shinkokai Gakujutsubu, *Showa 17 nendo jigyo hokoku* (Annual report for fiscal 1942), April 1943, p. 161, Table 2, "Research Expenses, FY1933-42," and p. 168, Table 3, "The Four Special Committees, Subcommittees, and the Geophysical Exploration Laboratory."

Note : The figures in parentheses indicate the percentage of the total combined expenditures of JSPS special committees, subcommittees, and the Geophysical Exploration Laboratory.

Table 2 shows the total amount awarded in research grants and subsidies, an important facet of JSPS activities, by the Fourth Standing Committee, which handled funding for mathematics, physics, astronomy, and geophysics. As this table indicates, the ratio of grants and subsidies made by this committee to those awarded by the JSPS in all fields peaked at 13.6% in 1933 but, on the whole, declined steadily thereafter.

Table 2: Grants and Subsidies Awarded by the Fourth Standing Committee

FY1933	FY1934	FY1935	FY1936	FY1937
¥60,900.00 (13.6%)	¥ 48,394.32 (10.6%)	¥ 45,270.00 (10.5%)	¥ 22,286.00 (5.6%)	¥ 31,054.83 (10.0%)
FY1938	FY1939	FY1940	FY1941	FY1942
¥ 20,370.00 (6.6%)	¥ 18,920.00 (6.6%)	¥ 24,210.00 (5.9%)	¥ 40,720.00 (8.5%)	¥ 28,250.00 (6.2%)

Source : Compiled on the basis of Nihon Gakujutsu Shinkokai Gakujutsubu, *Showa 17 nendo jigyo hokoku* (Annual report for fiscal 1942), April 1943, pp. 175-7, Table 4, "Percentage of Grants, Subsidies, and Commissions by Type of Research."

Note : Figures in parentheses indicate the percentage of awards in all fields.

The historian Tetu Hiroshige has written that "the objective duty placed upon the JSPS was, in short, to promote the modernization of the Japanese academic world so that it could meet the demands of Japanese capitalism at the time."⁴²⁾ Although the treatment afforded to pure science that is evident from the above data has probably led him to make this evaluation, I feel that there is far more to the overall picture than he allows for. Close examination in light of the situation in which scientific research had been placed prior to the Society's establishment indicates that the JSPS fulfilled a very important role for researchers and the development of pure science. In a review of its first decade, published in 1943, the JSPS noted that:

In the past, lack of funds has prevented many motivated researchers in universities, laboratories, and professional schools from doing adequate research. There is considerable evidence that support from our organization has enabled such scientists to carry out their research programs. In particular, it is most gratifying that progress has been possible in pure scientific research, which heretofore has had difficulty getting support.⁴³⁾

A general evaluation of the JSPS must wait for another time. Here I wish to emphasize that the development of a large cyclotron at IPCR became feasible as a joint project only after it could rely on government-level financial support through the JSPS. This is an apt illustration of how deepening human perceptions of the natural world lead to scientific progress that, in and of itself, turns scientific research into a joint endeavor.

The Japanese Electronics Industry and the Development of the 60-Inch Cyclotron

In a lecture delivered at Tokyo Ishikawajima Shipyard on November 4, 1938, Nishina described the state of the project to develop a large cyclotron:

It was decided to make a magnet with a steel portion weighing about 180 tons by layering 2-inch-thick steel plates, each weighing around 2 tons. The coils, which are to weigh 24 tons altogether, and the iron tanks for immersing the coils in oil, are to be made in the United States and shipped here.

There was some question as to what would be done about manufacturing and assembling the steel portion and the coils, but...it was decided to ask Ishikawajima Shipyard to handle the job. The steel materials arrived in Yokohama at the end of January this year. And, despite the troubled times, assembly was completed in June as scheduled, thanks to the special effort made by all concerned.⁴⁴⁾

Nishina's report makes it clear that, unlike the case of the small cyclotron, a new electromagnet had to be constructed explicitly for the large cyclotron, and cost considerations necessitated importing the steel for it from the United States.

Moreover, given the size of the equipment, it was beyond the powers of the IPCR Workshop to assemble the electromagnet or cast and build the accelerator chamber. None of this could have been accomplished without the engineering skills of the Tokyo Ishikawajima Shipyard. Nonetheless, at the time of this address, Nishina was confident that once the electrodes then under construction at IPCR and the oscillator that had been commissioned to Tokyo Electric Radio Company were completed, the large cyclotron could begin operation within three to four months.⁴⁵⁾

In fact, however, Nishina's projections proved far too optimistic. The large cyclotron was tentatively assembled in 1939, but unlike the small one, it did not immediately produce the desired energy and beam intensity. So it underwent "a major overhaul." In 1951 Keizo Shinma, Fumio Yamasaki, Asao Sugimoto, and Eizo Tajima, all of whom had worked with Nishina on this project from the late 1930s through the war years, reported on the factors that had made this overhaul necessary: The gap between the poles of the electromagnet was too large, making the diameter of the homogeneous magnetic field too small; the exhaust speed of the vacuum pump on the ion accelerator chamber was insufficient, making a poor vacuum in the chamber; and the high-frequency voltage did not load high enough on the dees.

In an effort to overcome these defects, Sukeo Watanabe and Yasaki went to Berkeley in the autumn of 1940 to observe the operation of the 60-inch cyclotron that had been developed under Lawrence. Their visit resulted in a decision to design most of the cyclotron's major parts on the basis of the Berkeley cyclotron and to import a VSD778 vacuum pump for it from the Kinney Company. This corrected the first two defects to a certain extent. But although they loaded the dees with high-frequency voltage using the 1/4 wave-length coaxial resonance tube method used at Lawrence's laboratory, they were still unable to obtain satisfactory results.⁴⁶⁾

Clearly, progress in related areas, such as vacuum technology and high-frequency, high-power electronics technology, was very important to cyclotron development. Further examination of the level of Japan's high-frequency oscillation tube technology and the nature of the country's electronics industry in the 1930s points up some important aspects of the causes of this failure with IPCR's large cyclotron.

Development of the TW-530-B tube and the electronics industry's response to military demand: In 1934 Takuji Kuno, who had worked with Imaoka to develop the SN-167 tube, described the progress that had been made on high-power transmission tubes:

Today's highly powerful transmission vacuum tubes can generally be grouped into three categories: those for broadcasting waves (wavelengths of about 400 meters), those for short waves (wavelengths of 15-18 meters), and those for ultra-short waves (wavelengths of 10 meters or less), each of which has a different shape and size.⁴⁷⁾

Even more interesting is his perception of short-wave communication:

According to the experiments performed by Namba and Ueno, a wavelength of about 30 meters has the best communication capability. If wavelengths in this vicinity are utilized, an antenna output of less than 50kW is sufficient for international communication if space waves are used.⁴⁸⁾

He summed up the situation at the time:

The present record for output obtained with undamped oscillation is 500kW at broadcasting wavelengths, about 50kW for short waves, 15kW at 5 meters, and about 15W at 1 meter. There is currently no need to obtain greater output for medium and short wavelengths, so progress is at a standstill, but for ultra-short wavelengths, we are putting tremendous effort into getting more powerful oscillation.⁴⁹⁾

Kuno's discussion makes it clear that in the mid-1930s little progress was being made on high-power oscillation tubes for short waves, which were important to cyclotron development. But after the Manchurian Incident in 1931, Japan's imperialist expansion on the Asian continent spawned overseas broadcasting projects that changed this situation.

It was the role of overseas broadcasts to "give the most advantageous presentation of our country's position to the rest of the world."⁵⁰⁾ They were begun around 1932 by Nippon Hoso Kyokai (Broadcasting Corporation of Japan), using the broadcasting equipment at the Nasaki transmission station of the International Telephone Company. Kuno remarked that he and other researchers were "putting tremendous effort into the competition over high-power broadcasting to give greater advantage to the country's public relations endeavors."⁵¹⁾ But he felt that "scattering useless radio waves in foreign countries having different languages should be avoided insofar as possible."⁵²⁾ As the war expanded, however, the Japanese government decided to develop a short-wave oscillator that would "have the maximum possible power output so that reception would be feasible even if there was a bit of interference and fading."⁵³⁾ That was in 1935.

Nippon Electric Company responded enthusiastically to the government's decision and immediately set about developing a high-power, short-wave transmitter. The oscillating

tube produced in the process was the TW-530-B tube, a 60-kW water-cooled, cathode-type bipolar vacuum tube.

By thus bolstering those aspects of its engineering that met military needs, the Japanese electronics industry, which had extricated itself from total dependence on foreign technology only a few years earlier, managed to produce the world's most powerful short-wave transmitting tube, the TW-530-B. This progress was not a cause for unqualified rejoicing, however, when considered in conjunction with cyclotron development. Progress on the cyclotron was greatly affected by the electronics industry's orientation toward meeting military needs and, in the end, the results that Yasaki and his associates had hoped to achieve in nuclear research could not be attained.

The limitations of large cyclotron development: In a letter dated October 9, 1937, the year that JSPS Subcommittee 10 decided to develop the large cyclotron, Nishina requested Imaoka, who already had a commission from the subcommittee, to produce an oscillator for the cyclotron. The letter of request specified that it have an output of 50 kilowatts, wavelengths of 18 to 38 meters, and a crystal oscillator wavelength control mechanism (master oscillator). Delivery was set for April 30, 1938. Nishina concluded his letter with the comment that the cyclotron magnet would be the same size as that used at Berkeley, "so if we begin work much later than they do, most of our purpose in building it will be lost," urging the early completion of a large cyclotron in Japan.⁵⁴⁾

Nishina and Imaoka subsequently exchanged letters regarding the wavelength range, an important aspect of the oscillator's capacity. Then, in a letter dated August 5, 1938, Nishina asked Imaoka to do everything possible to get the oscillator delivered by September 30⁵⁵⁾—already five months behind schedule. A written estimate issued by Tokyo Electric Radio Company to IPCR on March 16, 1938, indicates that the equipment to be delivered at the end of September was a pair of high-frequency oscillators using four Cymotron SN-168 tubes. The price quoted for entire set was ¥69,458.⁵⁶⁾

For Imaoka, creating a high-frequency oscillator that met the above specifications for wavelength range and output probably meant developing new technology. How this oscillator performed when it was adopted on the large cyclotron is, however, unknown. The paper by Shinma et al cited earlier, the only coherent document on the development of the large cyclotron, refers only to the TW-530-B tube (made by Nippon Electric Company) and a self-excited, tuned grid, tuned plate, push-pull oscillator that used two of these tubes.⁵⁷⁾

Why the oscillator using four Cymotron SN-168 tubes was changed to one using the TW-530-B tube is not clear. But even the TW-530-B, the most powerful tube in the world at the time, did not have sufficient output to serve as an oscillator on the large cyclotron. In a letter dated January 11, 1944, to Yasutaro Kato, head of the engineering division at

International Telecommunications Company,⁵⁸⁾ Nishina wrote:

Fortunately, we have been progressing steadily toward our goal. But recently it has come to light that the TW-530-B vacuum tubes made by Sumitomo Telecommunications Company [sic] that we are currently using for the high-power oscillator are putting out far less power than we need...although I realize that you are very busy, I would like to ask that you check into whether your company has suitable vacuum tubes, and if so, use your good offices to make them available to us.⁵⁹⁾

The conclusion to be drawn from this is that development of a large cyclotron required the development of a new oscillating tube that had greater output than existing high-power short-wave oscillating tubes.

But the military demand that had spurred the rapid development of Japan's electronics industry in the 1930s had, in the final stages of World War II, turned the entire industry into "factory-wide battlefields on which to serve the country with radio waves,"⁶⁰⁾ and it was impossible to develop new technology in divisions having no direct connection to weaponry. This clearly illustrates the way the progress of technology is hindered when it is turned solely to meeting military demand, consequently placing limitations on scientific progress. The abnormal situation this created also took its toll on researchers like Imaoka, who was compelled to direct plant operations to meet the military's production demands; he became neurotic and died on March 14, 1944.

From the standpoint of experiments using the cyclotron, insufficient oscillator output meant, first of all, that the accelerating electrodes could not be loaded with high voltage at high frequency, so the beam produced would inevitably have had weak intensity. Experiments using a weak beam would have necessitated an internal target. And, in fact, Shinma and his associates later wrote that, based on the results achieved:

...we judged that it was adequate for experiments on an interpolated target, but that the rise in Dee voltage was not yet sufficient to draw the beam outside. So we finally decided to experiment with an interpolated target. At this point, we decided to suspend overall adjustments and begin using the large cyclotron for our personal experiments from around July 10.⁶¹⁾

That was in 1944, seven years after the project to develop a large cyclotron had been launched. In the end, the project was hamstrung by the slow pace of Japanese technological progress in the 1930s, when the focus of development efforts was concentrated on military technology. And, as Kobayashi has pointed out, "to do research and create something special in the absence of production technology was, in itself, exceedingly difficult."⁶²⁾

Conclusion

The above examination has made two points clear. First, the progress made by Japanese nuclear researchers in the 1930s was due to the completion of the 26-inch cyclotron, which was entirely the product of domestic technology. Only when it became possible to produce the research tools in Japan did the country's nuclear research program make notable progress. This paper has concentrated on nuclear research, but the same phenomenon may be observable in other fields, as well. Many different methods of periodization are used in the history of science in Japan, but full-scale examination in conjunction with the development of research tools is needed.

Second, there was a very pronounced change in the scale of scientific research. Writing in 1957, the historian Kunio Oka noted that this expansion in scale was accompanied by “fundamental changes in the nature of science and its relationship to society in modern times....[The scale has become] too great for financing by a wealthy individual or a single academic institution and has to depend on the power of zaibatsu or government. This is, indeed, one of the ‘crises’ that science now faces.”⁶³⁾

It is also true, however, that one aspect of what he views as a “crisis” involves factors, such as the joint utilization of research tools, that encourage researchers to organize and make scientific research a social activity. The question here, however, is whether organized groups of researchers have actually directed their efforts toward scientific progress that led to true benefit for humankind. The activities of Japanese scientists in the 1930s need to be reconsidered from this perspective.

In conclusion, I would like to extend my gratitude to the staff of the Nishina Memorial Foundation and the former personnel of the IPCR Workshop for their gracious assistance in preparing this paper. I would also like to express my appreciation to the late Takuji Kuno and to Akira Sasabe for rewarding discussions. And lastly, many thanks to Masa Takeuchi for giving me valuable advice on this paper and encouraging me to continue my research.

NOTES

- 1) Seishi Kikuchi, “Genshikaku butsurei 50 nen no kaiko” (Reminiscences of fifty years of nuclear physics), *Kagaku*, 20, no. 3 (March 1950): 110-11.
- 2) Asao Sugimoto, “Saikurotoron monogatari” (The story of the cyclotron), *Kagaku Asahi*, 11, no. 7 (July 1, 1951): 13-18.
- 3) Hantaro Nagaoka, “Zatsu roku—Obei butsurigaku jikkenshitsu shisatsu dan, sono san” (Miscellaneous notes: Stories of my observations in physics laboratories in the West, part

- 3), *Rikagaku Kenkyujo iho*(Bulletin of the Institute of Physical and Chemical Research), 8, no. 5 (1929): 380.
- 4) Yoshio Nishina, Tameichi Yasaki, and Sukeo Watanabe, "The Installation of a Cyclotron," *Scientific Papers of the Institute of Physical and Chemical Research*, 34, no. 854 (Nov. 1, 1938): 1668.
- 5) Fumio Moriya, *Shinpan Nihon shihonshugi hattatsu shi* (The history of the development of Japanese capitalism, new edition) (Tokyo: Aoki Shoten, 1969), 270.
- 6) Mitsui Ho-onkwai Foundation, *Showa 19 nen 3 gatsu, Zaidan Hojin Mitsui Hoon Kai yoran*(Prospectus of the Mitsui Ho-onkwai Foundation, March 1944), 81.
- 7) Mitsui Ho-onkwai Foundation, *Zaidan Hojin Mitsui Hoon Kai Showa jyunendo jigyo hokoku*(The annual report of the Mitsui Ho-onkwai Foundation for fiscal 1935), 28.
- 8) The enormous figure represented by the ¥150,000 grant from the Mitsui Ho-onkwai Foundation can be put in perspective by comparison with the ¥6,400 annual budget of the Nishina laboratory at the time it was set up in 1931. Yoshio Suga, *Shizen*, 33, no. 13 (Dec. 15, 1978): 62. [At the yen-dollar exchange rate prevailing in 1935, this grant was the equivalent of about \$42,860. Trans.]
- 9) Yoshio Nishina, "Saikurotoron to genso no henkan" (The cyclotron and the conversion of elements), *Ishikawajima giho*, 2, no. 3 (January 1939): 4.
- 10) Nishina, Yasaki, and Watanabe, 1658.
- 11) *Ibid.*, 1659.
- 12) *Ibid.*, 1665.
- 13) Yoshio Imaoka, "20-40Kw tan hacho soshinki" (20-40 kilowatt short-wave transmitter), *Matsuda kenkyu jiho*, 6, no. 2 (November, 1931): 194.
- 14) *Ibid.*
- 15) Akio Kobayashi, "Matsuda Kenkyujo" (The Matsuda Research Laboratory), *Kagaku*, 20, no. 2 (Feb. 1950): 77.
- 16) Tameichi Yasaki, "Kenkyushitsu gaikan—Rikagaku Kenkyujo Genshikaku Jikkenshitsu" (Laboratory overview: The Nuclear Research Laboratory at the Institute of Physical and Chemical Research), *Kagaku*, 7, no. 7 (July, 1937): 294.
- 17) *Ibid.*
- 18) Masakazu Takahashi, "Sankyoku hodenkan jido den'atsu choseiki" (Automatic voltage regulator using mercury cathode ionization tube with grid), *Denki Gakkai zasshi*, 55, no. 559 (Feb., 1935): 73.
- 19) *Ibid.*
- 20) Nishina, Yasaki, and Watanabe, 1667. I would like to add that these favorable results also depended on a technique derived from experience that involved what were called "shims," thin iron plates that were inserted between the magnetic poles to make minute adjustments in the magnetic field.

- 21) Ernest O. Lawrence and Donald Cooksey, "On the Apparatus for the Multiple Acceleration of Light Ions to High Speeds," *Physical Review*, 50, no. 12 (December 15, 1936): 1131.
- 22) Franz N.D. Kurie, "Present-Day Design and Technique of the Cyclotron," *Journal of Applied Physics*, 9, no. 11 (November, 1938): 700.
- 23) Nagaoka described what he saw at the Cavendish Laboratory, where he visited Ernest Rutherford in the fall of 1928: "As usual, they were doing a lot of radiation experiments. The facilities are extremely inadequate, and they are using stuff like cigar tins to make the equipment." Nagaoka, *op. cit.*: 389.
- 24) Pierre Curie, "Radioactive substances, especially radium," Nobel Lecture, June 6, 1905, in Nobel Foundation, *Nobel Lectures Including Presentation Speeches and Laureates' Biographies: Physics, 1901~1921*(Amsterdam, Elsevier Publishing Company, 1967): 78.
- 25) Yoshio Nishina, Tameichi Yasaki, Kenjiro Kimura, and Masao Ikawa, "Artificial Production of Uranium Y from Thorium," *Nature*, 142 (Nov. 12, 1938): 874.
- 26) Yoshio Nishina, Tameichi Yasaki, Hiroo Ezoe, Kenjiro Kimura, and Masao Ikawa, "Fission of Thorium by Neutrons," *Nature*, 144 (Sept. 23, 1939): 547-48.
- 27) Ibid.
- 28) Yoshio Nishina, Tameichi Yasaki, Hiroo Ezoe, Kenjiro Kimura, and Masao Ikawa, *Nature*, 146 (July 6, 1940): 24.
- 29) Nishina, Yasaki, Ezoe, Kimura, and Ikawa, *Physical Review*, 57, no. 12 (June 15, 1940): 1182.
- 30) Nishina, Yasaki, Kimura, and Ikawa, "Fission Products of Uranium by Fast Neutrons," *Physical Review*, 58, no. 7 (October 1, 1940): 660.
- 31) Emilio Segrè and Glenn T. Seaborg, "Fission Products of Uranium and Thorium Produced by High Energy Neutrons," *Physical Review*, 59, no. 2, (Jan. 15, 1941): 212.
- 32) R. D. Present and J. K. Knipp, "On the Dynamics of Complex Fission," *Physical Review*, 57, no. 9 (May 1, 1940): 751.
- 33) Yasaki to Nishina, October 15, 1940, Princeton, N.J., Nishina Memorial Foundation, Tokyo. Yasaki indicates that, on the basis of the experimental data obtained by Nishina's group, John A. Wheeler at Princeton felt that the dynamical model looked more promising.
- 34) In an interview with Yoshio Fujioka, Kimura reminisces that one reason they failed to detect element 93 was that they had used osmium as the carrier of element 93, because they thought that the beginning of electron orbits of 5f was element 92 or 93. Kenjiro Kimura, interviewed by Yoshio Fujioka, June 3, 1975, *Nishina Kinen Zaidan Annai*(June 1989): 17-26, Nishina Memorial Foundation, Tokyo.
- 35) Edwin McMillan, "The Seven-Day Uranium Activity," *Physical Review*, 58, no. 2 (July 15, 1940): 178.
- 36) Yasaki to Nishina, Sept. 20, 1940, Nishina Memorial Foundation.
- 37) Yasaki to Nishina, Oct. 3, 1940, Rochester, N.Y., Nishina Memorial Foundation.

- 38) Kimura interview.
- 39) Hantaro Nagaoka, "Sogo kenkyu no hitsuyo" (The need for general research), *Gakujutsu Shinko*, no. 3 (1937): 8.
- 40) Ibid.
- 41) Ibid.
- 42) Tetu Hiroshige, ed., *Nihon shihonshugi to kagaku gijutsu* (Japanese capitalism in relation to science and technology) (Tokyo: Sanichi Shobo, 1962), 25.
- 43) Nihon Gakujutsu Shinkokai Gakujutsubu, *Showa 17 nendo jigyo hokoku—Hon kai soritsu yori Showa 18 nen 3 gatsu 31 nichi ni itaru 10 ka nen ni okeru Gakujutsubu shosho kenkyu oyobi sono jisseki* (Annual report for fiscal 1942: Research and its achievements under grants from the Academic Research Section in the 10 years between the Society's establishment and March 31, 1943) (April 1943), 146.
- 44) Nishina, "Saikurotoron to genso no henkan," 10.
- 45) Ibid., 11.
- 46) Keizo Shinma, Fumio Yamasaki, Asao Sugimoto, and Eizo Tajima, "60 inchi (ogata) saikurotoron kensetsu hokoku" (Report on the construction of the 60-inch [large] cyclotron), *Kagaku Kenkyujo hokoku* (Reports of the Scientific Research Institute), 27, no. 3 (June 1951): 156.
- 47) Takuji Kuno, "Daidenryoku soshinkan no shimpo," (The progress of large electric-power transmission tubes), *Oyo butsurei*, 3, no. 7 (July, 1934): 256-7.
- 48) Ibid., 257.
- 49) Ibid., 259.
- 50) Toyokichi Nakagami in Nakagami et al, "50kW tanpa hosu setsubi" (50kW short-wave broadcasting facilities), *Denki Tsushin Gakkai zasshi* (The Journal of the Institute of Electrical Communication Engineers of Japan) no. 177, (December 20, 1937): 1025.
- 51) Kuno, 257.
- 52) Ibid., 259.
- 53) Nakagami, 1026.
- 54) Nishina to Imaoka, October 9, 1937, Nishina Memorial Foundation.
- 55) Nishina to Imaoka, August 5, 1938, Nishina Memorial Foundation.
- 56) Tokyo Electric Radio Company to the Institute of Chemical and Physical Research, March 16, 1938, Nishina Memorial Foundation.
- 57) Shinma et al, 164.
- 58) This company was formed in 1938 by merging the Japan Wireless Telegraph Company and the International Telephone Company.
- 59) Nishina to Kato, January 11, 1944, Nishina Memorial Foundation. In 1943, Nippon Electric Company (initially a joint venture with the U.S. firm Western Electric) had been impressed into national service, producing to meet military demand in accordance with

government policy; at the time, the firm was renamed Sumitomo Tsushin Kogyo Kabushiki Kaisha (Sumitomo Communications Industries). Nishina seems to have been confused about the new name when he referred to the firm as Sumitomo Denki Tsushin Kabushiki Kaisha (Sumitomo Telecommunications Company). After the war, the company reverted to its original name.

60) Tokyo Shibaura Denki Kabushiki Kaisha, *Tokyo Shibaura Denki Kabushiki Kaisha 85 nen shi*(The 85-year history of Tokyo Shibaura Electric Company) (December, 1963), 168.

61) Shinma, et al, 170.

62) Kobayashi, "Matsuda Kenkyujyo," 29.

63) Kunio Oka, *Kagaku no gendai shi*(The modern history of science), vol. 1 (Tokyo: Shunjusha, 1957), 20-21.

博士論文梗概

19 世紀後半の *NATURE* 誌における科学の 改革論の展開

綾野博之 指導教官：山崎正勝

1 目的

自然科学が、個々の科学者によって個人的に営まれる社会的様式から、学校教育制度や研究活動への国家の財政的支援によって公共的に支えられる様式へと転換していくのが、19 世紀の科学の制度化である。その過程にある 1870 年から 1890 年の時期、イギリスの科学の制度化は一定の社会的偏りをもって進んだ。技術系カレッジの設立運動、ハイヤー・グレード・スクール等への中等教育への科学教育の普及、中下層の中産階層や労働者階層に向けた初等学校への科学教育の導入といったように、相対的に見て、オックスブリッジとそれに連なるパブリック・スクールとは別の学校教育機関における進展が目ましく進んだ。イギリスでは社会の階層分化を反映して、20 世紀初頭になっても学校教育体系が二極に分化したままとなり、例えば、中等教育における標準的な教科編成は作れない社会状況にあった。相次いで設立された技術系カレッジは都市大学の礎石となり、当時の制度的進展は大きく技術教育運動と特徴づけられた。しかし、1867 年頃からイギリスの多数の科学者たちが関わった改革運動は、それら以上の社会的課題を提起していた。

この論文の目的は、おもに *Nature* 誌の記事にもとづいて、19 世紀後半のイングランドで起きた科学の改革運動 (Science Reform Movement) の全体像を再検討することにある。*Nature* 誌や調査報告書などを丁寧に読み込むことで、改革運動で議論された課題の総体を明らかにし、運動への科学者たちの関わり方、その特徴や相互関係、*Nature* 誌上の議論の社会的特徴を明らかにする。議論をそれ自体として分析することで、制度の形成をたんに施設や講座の設置といった具体物の形成としてだけでなく、異なった文化的・制度的背景をもった社会集団や社会階層間の社会的共同性の構築に関わる問題として捉える。

ここでは、1869 年 11 月から 1889 年 10 月までの期間を取り上げた。この時期、イギリスでは、科学教育に関わる重要な 3 つの調査委員会が招集され、報告書がまとめられた。いわば、イギリス科学の制度的原形が形成された時期とも位置づけられる。

2 論文の概要

2.1 背景と科学の改革運動の全体的動向

1870年までに一方で、オックスブリッジを頂点として、パブリック・スクール化を求めるグラマースクールなどの初等中等学校が、社会的位階の上昇を志向する中産階層の成長に伴って組織されていきつつあった。他方で、主に労働者階層・中下層の中産階層に向けて、非宗派的な初等義務教育制度が整備される段階に達した。ラテン語・ギリシア語の文献を中心とする人文古典知識と教育理念としての教養文化は、「ジェントルマン」という理念と重なりつつ、イングランドの初等中等教育のあり方を強力に主導する考えとなっていた。1869年に創刊された *Nature* 誌はパリ万国博覧会以降、こうしたイングランドの教育制度構成の中で、科学・技術教育の制度化と科学研究振興を議論する舞台となった。*Nature* 誌は、たんに専門家だけに向けたものでない一般的な科学雑誌、それも文学・芸術といったものにまで関心を払う、それまでの月刊・隔月誌といった刊行形態を取らない新しい科学雑誌であった。創刊された時期は、国家が教育や科学活動に干渉しないというレッセフェールの考えによりやうやく一定の限度が設けられた時期でもあり、刊行の目的の一つは、自然科学に関わる要求を一般に認知させることにあった。

Nature 誌で発言した科学者や学校関係者たちは、19世紀後半のイギリスで学校教育体系が二極に分化しつつあった中で、人文古典教育と科学教育を対立的に捉えない教科編成を提案した。彼らはとくに1876年まで、社会全体への科学教育の普及を強く提起し続け、80年代になっても、パブリック・スクールを含む学校教育機関に対する科学教育の制度化という問題意識を持続させ、教養文化の理念と対面し続けた。とくに70年代には、オックスブリッジに対して批判活動が展開され、さまざまな科学の正当化の議論で、たんに実用主義的でない科学教育の教育的意義を強調した。科学はそれ自体教養文化であるなどの正当化の議論は、科学教育とは特定の産業的職種に結びついた技術教育であるとの社会的な位置づけを再考させるべく形態化されたもので、イギリスの特殊な社会構成・学校体系の分化に関わるものだった。神への信仰表明や王侯貴族への賛辞よりは近代的なものだった。

1876年頃より *Nature* 誌では科学研究振興の議論が少なくなり、オックスブリッジへの批判があまり見られなくなった。とくに80年代に入って、改革の議論は全体として産業や技術的職業に関連した科学教育の意義にウェイトを置くようになり、科学が産業や技術に関連してくることを強調した。誌面は全体として教養文化の理念の支配するオックスブリッジの世界とは社会的に離れた場所に科学と技術の組織化の問題を置き、自然科学の理論的な側面を強調するとともに技術教育運動としての性格を強めていった。技術系カレッジと初等中等教育との連携が、重要な問題となった。(第1章、第2章、第3章に相当)

2.2 *Nature* 誌で改革運動に関わった人々と H.E.Roscoe

この時期の *Nature* 誌というメディアで発言した人々は、同時代の調査委員会で証言した集団と比較すると、オックスブリッジ出身者ではない、大学や初等中等学校などの研究・教育機関に所属する科学者がより大きな割合を占めていた。名前を記した科学者では、化学者たちが比較的大きなグループの一つであり、科学者以外では科学教師を含む学校関係者が多く見られた。化学者たちは国内的にはロンドンの T.Graham や A.W.Williamson に学んで、影響を受けた者が多く、ドイツの化学者 Liebig 以外では、R.W.Bunsen によって実験室を含めた化学教育を受けた者が多くいた。化学者以外の科学者にも、Bunsen-Kirchhoff のスペクトル分析という定量的な分析手法を研究に採用する者がいた。化学者 H.E.Roscoe はドイツ留学で Bunsen に学び、経歴上これら化学者たちの典型であっただけではなく、Bunsen と長く共同研究を行い、誌上で改革について発言した科学者たちと広く交友関係を持つ中心的な人物の一人であった。Roscoe は、科学教育の方法に関して Bunsen に最も強い影響を受け、化学者として実験室教育や操作分析手法、系統的な科学教育法を学んだ。

Roscoe は Greenwood とともに、当初はオックスブリッジのラインで設立され、人文古典知識を重視した Owens College を科学教育機関として制度的に転換させた。1870 年までのことであった。カレッジの教育に人文古典教育と科学教育の双方が必要であることを理事会に説得したことで、地域の産業上の要求や高等教育への需要にうまく応えた。Roscoe は自ら行う科学教育で理論的知識と実験教育の双方を重視し、講義を受講する学生数を増大させ、マンチェスターで成功を収めた。Roscoe らがカレッジで人文古典知識と科学教育とを排他的に考えない教育様式を強調せざるをえなかったのは、実験施設・設備や機材・試料など、内実ある科学教育には教育の資源配分に一定のアンバランスが必要となるためであり、教育機関の内部で明確なコンセンサスが必要となるためであった。彼らはいわば、それまで教育制度を支えた社会的構成要素――教育の理念、それを支持する社会層、知識教授のあり方、産業的基盤など――を具体的に再構造化してみせた。多くの科学教師を輩出すると同時に、そこで実現された教育制度形態は、国内の多くの地域で参照された。

科学教育としては Roscoe はたんに地域の産業上の需要に直接応えず、技術的利用に限定されない形で科学知識を位置づけ、独創的な科学研究を最も重視した。彼の科学教育は、科学の技術的利用、系統的かつ経験的な科学の教育、独創的な科学研究という3つの側面をもつ制度形態を実現するものであった。人文古典知識に対する妥協的な要素を全体として持たなかった Roscoe は、科学研究の制度的基盤の充実を念頭において、*Nature* 誌でオックスブリッジなどの高等教育機関のあり方に強く関心を寄せた科学者の一人であった。彼の議論の *Nature* 誌面への影響はかなり大きかったと見られる。(第4

章、第5章に相当)

2.3 *Nature* 誌の議論の社会的特徴

Nature 誌に登場する科学者とは異なる社会的系譜をもつエンジニア J.S.Russell は、造船技術の協会・教育機関の設立に関わった組織者であり、Edinburgh 大学で幾何学の講師をやった経験を持つ技術者であった。Playfair と同じく万博の審査委員も務めた。

彼の科学教育論は、教養文化の理念とは社会的に区分されて展開され、オックスブリッジやパブリックスクールとは社会的に関わりを持たずに、特定の産業的職種と結びつく技術教育の一環として狭く科学教育を考えた。Russell は、科学知識の重要性を理解し強調しながらも、独創的研究を強調せず、科学知識の実用性・応用性を最も重視した。これは、同時代の工学教育論としては特異なものではなかったが、*Nature* 誌の議論とは一線を画するものであった。*Nature* 誌は、オックスブリッジに対して積極的に改革の議論を展開し、応用性・実用性を志向する科学の捉え方に対しては科学研究の独立した意義を強調する動向を持った。同時代的に見て比較的多く学歴を重ねた科学者や学校関係者の関心を集めた *Nature* 誌は、オックスブリッジやパブリックスクールなどの高等教育機関のあり方に強い関心を払った。これは、科学者の中でも化学者が多くを占め、独創的な科学研究から系統的な科学教育の導入、科学の技術的利用にまで広く関わりうる科学者として、化学者が、改革運動で主導的な位置に立ったためであった。誌面でも、一般の科学教育の教科として化学を勧めるものが多く、科学教育の典型的な特質をもつものも化学とされて、詳細な科学教育の解説が掲載されたのも、化学が最初であった。*Nature* 誌は全体として、実践的なエンジニアたちのそれだけでなく、理論的かつ実践的な化学者の研究者意識を強く反映した。

イギリスの都市大学の形成期に展開された、専門知識としての科学・技術が、人文古典知識を基盤とする教養文化と対立するという見方とそれらを架橋しようとする議論は、その後 1960 年代に入っても反復される歴史的な性格を持ち、1870 年代以降に形成された制度的基本構造が、その後のイギリスの科学制度の布置を強く規定していると読むこともできるだろう。それは、イギリスなりの階級社会の問題とも重なる。*Nature* 誌から復元できる改革運動の提起した社会的課題の広がりには、そのときに実現を見た制度的な成果を実体とするだけでは捉えきれものではなく、そうしたものへの実証的視線だけでは、運動の歴史的射程や文化的意味を軽視することとなるだろう (第6章、第7章に相当)。

幕末明治初期日本工学教育の展開に関する研究 —横須賀費舎、燈台寮修技校及び工部大学校の比較分析—

デマイオ・シルヴァーナ 指導教官：木本忠昭

第1章 先行研究と問題設定

本論文は、お雇い外国人 F.ヴェルニー、R.H.プラントン、H.ダイアーらの幕末明治初期の日本における、技術教育の日本技術教育史上の意義を検討するものである。すなわち、ヨーロッパの技術教育が日本に入ってくる流れを検討し、その中で、日本近代化をめざす一環としての技術・工学教育が、どのような社会的関係において確立されていったのかを検討し、その社会的関係において、いかなる内容の技術教育が展開されたかをみるものである。

日本の工業教育の成立過程については多くの研究がある。特に1970年代以後の三好信浩、北正巳、中山茂、梅溪昇等の研究がよく知られている。海外でもブロックの論文、チェックランドの著作の中でもこのテーマが扱われているので、研究つくされていると思われるがちである。

明治になってからの工部省の工学寮（工部大学校）については、『工部省沿革報告』や『旧工部大学校史料』にもとづいた解釈がなされてきていた。中山茂が、工部大学校のモデルに関連させて、チューリッヒ連邦工科大学を取り上げたのも、その流れであった。明治期の関連公文書の資料を制度的に整理することは、三好信浩の『日本工業教育成立史の研究—近代日本の工業化と教育—』や『明治のエンジニア教育』で行われている。彼はチューリッヒ・モデル説についても論じ、チューリッヒ・モデル説を否定しているが、その根拠は明確ではない。

工業教育に関連したいわゆる「お雇い外国人」に関しては、早くから多くのお雇い外国人研究や日欧交流史からの研究があり、ダイアーやコンドル、ミルンなど個々の著名な人物については、人物研究がなされてきている。

しかし、なお残されている研究課題は大きなものがある。工部大学校のお雇い教師にしても、著名人物についての人物研究はあるものの、著名人以外の人物の素性がいまなお多くは明らかでない。さらに工部大学校（工学寮）の教師集団として全体の能力はどういうものであったか、どのような運営がなされていたのかなど実際の教育の実態は殆ど解明されていない。教育のレベルについての文献説明も工部大学校学生であった古市公威のノートなどを手がかりに、始まったばかりである。工学寮（工部大学校）そのものについても、ダイアーの工学寮の基本プランはどのようにつくられたのか、チューリッヒ・モデル説は果たして妥当であろうかなどは、なお今日残された基本的問題と言える。

さらに、明治初期の日本工学教育が、工学寮によって本格的に軌道に乗ったことは、その通りであろうが、西洋近代の工学教育制度が日本に導入される流れを工学寮だけをもって明治以来の日本技術教育・工学教育史を説明することは妥当であろうか。また、工学寮自体のプランやレベルの評価についても、工学寮はイギリスの経験主義的な教育方法と大陸の理論的方法を

結合させた当時最高の工学教育機関と言われることが多いが、これについても疑問が多い。ヨーロッパ大陸の工学教育と比較して工学寮の教育は、どのように特徴づけられるべきであろうか。

さらには、マセソン商会を介して工学教師をイギリスに依頼したことについても、なぜイギリスに依頼することになったのか、当時のイギリスが工学教育の制度的確立がむしろ大陸より遅れていたことを考えれば、果たしてその判断は妥当だったのかの疑問も出てくる。

また、ダイアーのつくった教育プランが、そのまま日本で実行されたと理解されているが、ダイアーの言説と実際の日本での工学教育の推移は必ずしも照応していない面もある。日本社会の近代化の渦中で、ダイアー構想は日本の諸制度や社会と矛盾しなかったのか。周知のように幕末明初からの技術教育は何も工学寮だけではなかった。これについても、横須賀費舎についての堀内達夫の研究のように、個々の研究が始まってきている。しかし、これらのヴェルニーの費舎やプラントンの修技校、あるいは電信寮などの技術教育の流れをどのように整理するかは、なお残されたままである。

要するに、工学寮（工部大学校）の成立や実態に関する解明をなお進めるとともに、日本社会の近代化の推移の中で技術・工学教育の展開を歴史的に再検討する必要がある。ヨーロッパの工学（技術）教育が日本に導入されてくる外交関係を再検討し、工学・技術教育史の流れを史的に再検討することが本研究の課題である。その際、日本近代化をめざして西洋事情を視察した岩倉使節団が日本の工学教育の確立過程でいかなる役割を果たしたのかの問題も、日本が主体的にヨーロッパの諸制度を導入したのかどうかの問題や、ダイアー構想の位置づけに関わって浮かび上がってくる。

ところで 1876 年設立された札幌農学校でも土木工学が教授されているので、日本工学史の展開を全体的に分析するには、この札幌農学校を考察することが必要になる。しかし、本論文では主として、工学寮の確立過程を分析することを課題としたので、横須賀費舎、燈台寮修技校及び工学寮（工部大学校）を中心的に扱い、札幌農学校については省いた。

さらにまた、今日の東京工業大学の母体である東京職工学校は、1881 年に設立され、1884 年にワグネルが任命され、日本の工学教育史上きわめて重要な位置を占めることになる。しかし、東京職工学校が発展してくるのは明治中期であり、本論文の枠組みに入らないので、扱わなかった。

第 2 章 横須賀製鉄所費舎の意義

2-1 幕府とロッシュの結びつき

長崎の海軍伝習所を除けば、幕末明初の工学・技術教育機関としては、横須賀に設置された横須賀製鉄所費舎が最初の本格的なものであった。この費舎を設置したのは、フランスから派遣されたヴェルニーであり、それまで排外外交を固守していた幕府側も、結局は国内政権の維持と外交の両側面から外国の近代技術を導入せざるを得なくなり、提携相手としてフランスを選び、軍事強化策の手段として製鉄所を横須賀に開く方針をとった。そして費舎はその附属技

術教育施設であったことはよく知られているとおりである。

この費舎が、日本の工学・技術教育の確立過程で、どのような意味をもったかの分析に入る前に、費舎の変遷を左右した社会的背景として設置側のフランスと幕府との関係を見ておこう。

まず、一般的には開国後、日本に着任した欧米諸国の領事・公使たちは自国の国益を背負って、各自の個性を発揮しながらそれぞれ異なる方法で、変わりつつある日本国内の諸勢力に働きかけていった。アメリカ代表として最初に来日したハリス、その後任のプリュイン、それからイギリス代表のオールコック、ニール、パークスも同様であり、フランス代表のベルクール、レオン・ロッシュ、ウトレーもまたそうであった。そこでロッシュ及びパークスに代表される仏英の公使館は、幕末の最終段階では親幕府と反幕府で対立する路線をとった。

2-2 横須賀製鉄所の設立とフランス

横須賀製鉄所の設立のため幕府に雇われたのは、周知のようにフランソア・ヴェルニー(François Lénce Verny, 1837-1908)である。彼は所長として1866年に雇われた。

徳川幕府は欧米列強による圧力もあって、国防を強化することを決定し、この方針にもとづいて1864年に艦船の修理及び建造のために、製鉄所の建設を決定した。製鉄所の計画は、親仏派であった勘定奉行の小栗忠順(1827-68)及び目付だった栗本鋤雲(1822-97)によって推進された。

フランスのレオン・ロッシュ(Léon Roches, 1809-1901)は駐日公使として1864年来日し、フランス側は幕府を援助する政策をとっていた。

ジョレス提督がロッシュに呼ばれて来日し、両者相談の結果、寧波にいたヴェルニーが日本の造船所建設の担当者としてふさわしい技師として決定された。こうしてヴェルニーが来日し、彼は横須賀の地形がツーロン湾(Toulon)に似ているということで、ここに製鉄所(造船所)の建設地が選定されたのである。

2-3 横須賀費舎

ヴェルニーは、フランス人が帰国した後は、日本人が横須賀造船所を運営すべきことになると考えて、早くも1867年には、どのように日本人を養成すべきかを分析し、ロッシュに対して技術者養成機関設案を提出した。この技術学校の設立の主旨は、単に将来を見越してのものだけでなく、より緊急的な要請にもとづいたものでもあった。すなわち、日本政府(幕府)の命令する工事にあたって、その工事でできる青年を養成することが重要な要請としてはたらいたのである。

さて、横須賀の技術学校、すなわち、横須賀費舎には、二つのコースがあった。一つは、少年士族を選抜して技士(師)生徒として教育、「技士」を養成するものであった。

もう一つは、少年職工をフランス人が選抜して職工長生徒として教育し、「技手」を養成するコースであった。前者は、フランスの海軍応用工兵学校をモデルにし、後者は同じくフランス

の海軍下士学校がモデルであった。

ヴェルニーは案を出した段階ですでに直ちに入学できる生徒が6人がいた。そのなかの3人は2年間での作業に就くことのできるように、特別訓練を施するとされた。こうした経過からも横須賀費舎では理論だけでなく、実践も重んじられたことがわかる。ここでのカリキュラムは次のようなものであった。

・1866年2月20日にヴェルニーが作成カリキュラムの案。

第一年次：算数、幾何、製図、物理、地理、仏文学、画学

第二年次：算数、幾何、機械学、物理、化学、動・植物学・仏文学・
画学

第三年次：物理、材料強弱学、分体法、化学、造船学。

・横須賀費舎の技師養成コースのカリキュラム（1876年7月現在）

技術者養成科

1年次 幾何図学、微積分学、推理重学、物品抗耐学、物質組成学、
造船実訣、博物学、製図

2年次 造船学、蒸気機械学、造船実考課、製図

3年次 蒸気機械学考課、艦砲学、築造学、製図、工場執業。

・職工養成科のカリキュラム（1875年11月現在）

1年次（4等生） 算学、代数学初歩、幾何学初歩、万国地理学、図学、
仏学、和漢学

2年次（3等生） 算学、代数学、化学、日本地理学、図学、仏学、
和漢学、翻訳学

3年次（2等生） 算学、代数学、画法幾何学、三角術、物理学、化学、
日本地理学、図学、仏学、和漢学、翻訳学

4年次（1等生） 高等代数学、高等幾何学、高等画法幾何学、物理学、
化学、図学、仏学、和漢学、翻訳学

2-4 横須賀費舎の終焉とその意義

横須賀費舎は、以上のように1867年から1882年まで続き、軍事訓練的な性格を全面に出した長崎海軍伝習所を除けば、日本における最初の近代的なヨーロッパ式の工学教育・技術教育機関であった。

この間、1868年に新政府の命によって造船学校が廃止されたが、1870年に大隈、伊藤の建議で再置されている。つまり横須賀製鉄所は幕府内部の新フランス派の人々の尽力で順調に建設・整備されていたのだが、幕府が瓦解したとき、大きく揺れ動き、1868年に、横須賀製鉄所は幕府から明治政府に移管された。ヴェルニーが設備の計画の完成に働き続けたが、1869年

に横須賀製鉄所は大蔵省の管轄に移されて、11月18日には山尾庸三がその事務を総括することになった。すでにこの年3月には1868年5月に廃止された学校も復活させる願いが出された。製鉄所自体は1870年の工部省の設立直後その管轄になり、1871年に横須賀造船所と改称された。

こうした経過は、この横須賀費舎は、実質的にはある程度の理論的な知識を持った実践的な技術教育の実績を残したといえる。しかし工学教育制度史としてみると、この費舎が日本における技術教育・工学教育の礎石として確立し、そのまま継続的に発展したわけではなかった。

ヴェルニーが横須賀製鉄所内に設置した二種の学校はイギリス系の工学教育との相違を明瞭に示めており、内容的にイギリス系の教育制度より進んでいたといっても過言ではない。また横須賀費舎の二本建ての教育制度は合理的で、当時の日本の工学教育の必要性を満たしていた。換言すれば、フランス系の横須賀費舎においては、すぐ作業現場で仕事できる青年の教育（プラントンの理想）が行われた一方、優秀な生徒は留学できる見込みを含みながら高等技術教育を行う（ダイアーの理想）のである。

以上、端的に言えば、ヨーロッパで広まりつつあった近代的な工学教育の方法が、日本にも幕末の徳川政権下に導入されたのである。にもかかわらず、先に述べたように、横須賀費舎は明治政権樹立によって廃校の道をたどり、結局その後の日本の工学・技術教育の制度は、費舎のフランス的な方法をそのまま発展させる形にはならなかった。

その理由は、一つには言うまでもなく、費舎の社会的母胎たるべき幕府の崩壊であり、幕府と結びついていたフランスと費舎は、新政権にとっては、「敵対的」関係としてそのまま受け入れられる存在ではなかった。事実、横須賀は、明治政府にとっては接収すべき対象としてあった。また、その前段階から倒幕派勢力は、当然ながら親幕府のフランスとは接触が薄く、フランス的な諸制度の理解は十分ではなかった。これが、政権獲得後にも影響したといえる。

第3章 燈台寮修技校の性格

第2章で述べたように、幕末明初における日本の本格的な技術教育の開始は、横須賀費舎において行われ、しかも横須賀費舎は、軍事的側面を別にしてみればヨーロッパにおける近代的な工学・技術教育のモデルとなったフランスのエコール・ポリテクニクの基本的な特徴につながるものであった。

しかし、明治新政権が確立すると、明治政権下の技術・工学教育制度としては、この横須賀費舎を母胎にして発展させる方法ではなく、これとは別個の新たな社会的関係に照応する制度がつけられ始めた。明治新政権は、幕藩体制時代の徳川政権や雄藩と同様に、お雇い外国人に依拠して技術の近代化、西洋技術の移植を図ったが、技術・工学教育制度もまたお雇い外国人に依拠して、つくられていった。

このお雇い外国人によって指導確立されていく新政権設立以降の工学教育は、その成立の国際的国内的関係および学校の性格によって2段階に分けてとらえることができる。第1の段階は、明治新政権下でのお雇い外国人第1号であるR.H.プラントン(R.H.Brunton1841—1901)に

よる燈台寮修技校の時代であり、第 2 段階は工部省による殖産興業政策の技術教育的基盤としての工学寮—工部大学校の時代である。本章では、まずブラントンの燈台寮修技校を検討する。

3-1 「明治政府お雇い外国人第 1 号」R.H.ブラントンの任務

<ブラントンと列強>

ブラントン (Richard Henry Brunton) は、明治政府のお雇い外国人として 1868 年来日、技師として土木や交通、建築に関するもので、近代技術史上、18 世紀にイギリスの産業革命の過程でフランスやオランダの成果を取り入れながら形成された Civil Engineering の分野で活躍した。

その状況の中でブラントンの来日と彼が日本で行われた仕事は日本の土木界において重要な意味合いをもっている。

3-2 燈台寮修技校の内容と性格

イギリスはお雇い外国人を通じて、日本における技術教育とそれに伴う発達に関して支配的な役割を果たした。

1870 年 11 月、政府は、数学等の科目を勉強できる学校の設置を決めた。この教育施設は、燈台局に所属していたので、横浜の弁天に(すなわちブラントンの事務所に隣接して)つくられ、「修技校」と呼ばれていた。この学校は、三好信浩の言葉を借りると「より速成的な技術者養成を目ざす」学校であった。これにもパークス卿の提案にもとづいて、教師としてヨーロッパ人が招へいされ、日本と中国で滞在していた人物が選ばれた。修技校の優秀な学生は海外留学生として 1872 年 3 月にイギリスに派遣された。

学校の組織は、まず生徒の知識水準によって第 1 等、第 2 等、第 3 等のクラスに分けられた。教授科目は次の 11 科目であった。

- | | |
|----------|--|
| 1. 築造科 | → 築造經畫法、品量計算法、壓折力量法 |
| 2. 測量科 | → 製地圖、測量法、高低測量法、測量簿記法、地坪測量 |
| 3. 製圖科 | → 第一斜形圖第二切斷圖、立形圖、平面圖、
第三較尺製圖、縮圖、擴圖、第四臨寫、摸寫 |
| 4. 器機理學科 | → 稱量學、發動學、秤水學 |
| 5. 三角術科 | → 三角應用法及算範、三角義解、弦圈本義、高度距離測法 |
| 6. 面積術科 | → 表面及實體積量 |
| 7. 度學科 | → 術語解、度學實業 |
| 8. 代数術科 | → 義解、加法、減法、乘法、除法、冪乘、開方、一元方程式 |
| 9. 算術科 | → 第一義解及數位、第二加法、減法、乘法、除法、
第三分數、第四奇零、第五冪乘、根數、第六單比例、
第七對數乘法、同除法、三率比例、冪乘、根數、 |

第八普通問題

- 10.楷草寫字科 →第一大字楷法、第二斜字楷法、第三小字中字草法、
第四中字大字草法、第五大字草法及寫字初步
- 11.英國語學科 →讀本、同解義、會話、文典

この科目のリストから分かる通り、図学の教育も非常に詳細に行われていた。

3-3 修技校とヴェルニーの曩舎の比較—修技校の意義—

しかし、ヴェルニーとブラントンの技術教育を比較すれば、修技校の特徴が分かる。もちろん両者とも技術者としての実際知識の修得を計らせるという共通性が見られることはある。しかし、ブラントンの方が、職人的教育であったのに対し、横須賀の方は、はじめから、2本建てとし、より高度な体系への展望を開いていた。

第4章 イギリス・コネクションとシビル・エンジニアリングの社会的関係

モレルはたぶん建議を書いたときに、インド政府の工部省(Department of Public Works)のことが念頭にあった。

結果として、伊藤はこの建議をもとにして、同年に工部省を創置し、彼自身が工部大輔になったが、この計画によって伊藤に近い山尾備三と井上勝が民部省から工部省に就任した。

モレルは来日し、一年半後結核で死去したが、上述のように技術者養成の学校の設立計画は積極的に山尾備三に進められた。彼は1871年に工部大学校の計画において実学知識の重要性を指摘している。

1869年、イギリスでの留学を終えてからの山尾は新政府に横須賀製鉄所事務総括を命令されている。すでにみたようにF.ヴェルニーはここに工場学校を創設していた。彼はパリの理工科大学を卒業してから、フランスの海軍に入った。

次に、イギリスにおける技師の教育についてみておきたい。上述のように、フランスと違って、イギリスでは国家技師がいなかったし、その上に制度的に技術教育を授ける学校はなかった。その特徴に対して Shop culture という伝統は重要であり、それに伴う実践は仕事の基になっていた。

イギリスでは産業革命の展開によって、つまり社会構造の変化にともなって技術的問題に携わる人々、つまり Civil Engineer が生まれてきた。したがって、Engineering の性格やあり方も、そして技術者 Engineer の形成、還元すれば技術者教育も古い社会の枠組みの中で、あるいはそれを打ち破りながら行われてきたので、多くは経験主義的であった。

これに対して、日本の Civil Engineering も分野的には、イギリスとほぼ同様な分野、すなわち燈台建設や都市建設、鉄道などから始まっていく。お雇い外国人達が、その技術的指導を請け負った。しかし、社会的な枠組みからすれば、イギリスと日本では大きな違いがあった。日本でのブラントンの仕事は、列強の権益に関連した仕事であったし、通信や鉄道は明治国家の

主導的なものとして行われ、総じて「上」からの、また軍事的な色彩をも帯びており、どれだけ「Civil」と言えるかは疑問を呈さなければならないものであった。経済的な関係から遊離していたことはいうまでもない。こうした点は、すでに前節で述べたとおりであるが、Civil Engineer あるいは Civil Engineering の日英間の違いの問題も、日本工学教育技術教育史上注意しておくべき視点である。この問題は、明治の本格的な工学教育機関である工学寮の基本プランを構成した H.ダイアーと当時の明治政府の政策がいかに照応あるいは、その逆に相克していくかの問題に絡むからである。

第 5 章 岩倉使節団の日本工学教育史上の役割

5-1 岩倉使節団への視点

第 4 章では明治初期における工学・技術教育の制度的確立過程において重要な画期をなす工学寮の設立についても述べた。

この工学寮の指導人物をイギリスに求めた経緯は定説になっている。すなわち、工学寮に就任した山尾庸三は 1872 年 2 月 12 日付けで都検及び教師の雇い入れの上申書をだし、そこにはマセソン商会に人選を依頼すると書いてある。マセソンがイギリスで英国で初めての工学欽定講座教授となったゴードンに依頼、これが 2 代目教授のランキンの推薦によって H.ダイアーが推挙され、ダイアーの創案によって工学寮の基本構想がなされたというわけである。

このような人脈的あるいは、政治的關係によって事が進められていったこと自体はその通りであるが、近代日本の形成にあたって、社会制度や欧米技術がどのように日本に「移植」されてきたかを全体的にみるには、なお幾つかの検討をしておくべき事がある。一つには、山尾庸三→マセソン→ゴードン→ダイアーという依頼関係の、明治工学教育制度確立の全体における位置づけの問題である。すなわち、このような人脈上の動きは、当時の政治の、より本質的な他の動きに連動した単なる表面上の動きであったか、それとも核心的な関係そのものであったのかを明確にすることである。

第二に、明治政府は、日本社会の近代化に当たって、西欧の技術やすぐれた制度に学ぶという姿勢をとったとされるが、この政府の姿勢との関連で検討すべき問題がある。外国の文物に学ぶという姿勢をもっとも顕著にした事件は、岩倉使節団の米欧視察であった。教育の分野でも、こうした姿勢は当然ながらあった。もちろん、岩倉使節団の目的は、一義的には不平等条約の改訂交渉—そして、この目的は早々に棚上げされるが—、明治政府の前記姿勢にもとづいて精力的に米欧の諸物諸制度を視察して回った。ところで、明治政府から派遣されたというより、明治政府自身の分身とでもいうべき、この視察団の成果は、果たして工業教育制度の確立にあたって有効に機能したか。この問題は、従来殆ど検討されてこなかったが、単に岩倉使節団の歴史的役割を評価するという点からだけでなく、明治政府全体の政策遂行ないし、岩倉使節団参加のメンバーとそれ以外の政府構成員を含めての全体的な明治政府の近代化の手法がどのようなものであったかを検討するという点から重要な意味をもっている。これまで、岩倉使節団と米欧の教育視察そのものについては先行研究がある。また、教育の分野は当時の日本の

社会変化の中で侍階級にとって活動のできる新しい分野として見られたことも先行研究に指摘されている。しかし、これらの研究は殆ど初・中等教育の話にとどまって、技術教育までは検討されていない。そこで、本章では岩倉使節団が欧米でどのような工学教育機関を視察し、どのような知見をえたかを検討しておきたい。

5-2 岩倉使節団の構成

使節団のメンバーは、華士族・書生など留学生の43名も含めて、全部で107名であった。ここで使節団のメンバーの特徴について若干触れる。第一には西洋訪問に参加した人はいうまでもなく当時の政府のメンバーであり、なかでも岩倉をはじめ、大久保（薩摩）、木戸（長州）、伊藤（長州）は新政府設立の中心にいる人物であったので、西洋訪問が行われていた期間の日本の政府は「留守政府」と呼ばれた。

第二には書記官の特徴である。田辺、福地のように旧幕臣でもすでに外国体験がある者が加えられている。また特徴としてメンバーの若さが取り上げられることもあるが、これは新政府のメンバー自体の特徴だと言えよう。

使節団のメンバーは外務省、大蔵省、文部省、兵部省、司法省、宮内省、工部省からなっていたが、その49名のメンバー中、工部省出身は伊藤博文を含め、5名であった。他は、理事官の肥田為良(1830-1889)、随行の大島高任(1826-1901)、鉄道中属の瓜生震(1853-1920)と灯台権大属の藤倉見達(1852-不明)であった。

5-3 岩倉使節団の工業教育機関視察

岩倉使節団の目的の中の、欧米先進国の制度・文物を視察することの中に、教育制度に関する視察も重要な内容をなしていた。「各国の教育の諸規則、すなわち国民教育の方法、官民の学校設立・費用・募集の方法・諸学科の順序・規則及び等級を与える免状の方式等を研究し、官民学校、貿易学校、諸芸術学校、病院、育幼院等の体裁と現在の景況を実際に見て、これを日本に採用して施行すべき方法の見通しをたてる」ということである。

岩倉使節団のメンバーは当時のヨーロッパの工学教育の先端的な機関が設立されていた町、グラスゴー、エジンバラ、パリ、カールスルーエ、シュツットガルト、ハノーバー、ベルリン、ウィーン、それにチューリヒなどを訪れているが、その際教育関係機関も視察している。

岩倉使節団の報告資料としては、久米邦武の『米欧回覧実記』が著名である。この他にも、実は使節団が、現地から日本に送った報告があった。しかし、この報告資料は、周知のように1873年5月5日の太政官庁舎の火事で全焼してしまった。もう一つ使節団に随行した理事官の記録がある。その資料は国立公文書館に保管されているが、次の通りである：

『司法省理事功程』	10冊
『文部省理事功程』	15冊
『大蔵省理事功程』	11冊
『宮内省式部寮理事功程』	1冊
肥田為良・吉原重俊・川路寛堂・杉山一成 『報告理事功程』	1冊

内海忠勝報告	『理事功程』	1冊
中山信彬報告	『理事功程』	1冊
岩山敬義報告	『理事功程』	1冊
高崎正風報告	『視察功程』	3冊
安川繁成報告	『視察功程』	11冊

さて、使節団の構成リストにもその名前が上げられている、田中不二麿(1845-1909)について述べておこう。彼は1871年に文部大丞に就任後、使節団の理事官として随行し、欧米を視察し、文部省のために教育の担当者として取材し、帰国後類のない詳細な報告『理事功程』をまとめた。

ここでは、訪問した各国の教育制度等について記録されているが、久米邦武の著作『米欧回覧実記』と違って、早くも1873年12月に『理事功程』の出版が始まり、約2年間で完成された。全部で15巻で、次の通りに分けられている：

第1巻、第2巻	アメリカ
第3巻	イギリス
第4巻、第5巻、第6巻	フランス
第7巻	フランス及びベルギー
第8巻、第9巻、第10巻、第11巻	ドイツ
第12巻	オランダ
第13巻、第14巻	スイス
第15巻	スイス及びデンマーク及びロシア

この著作を分析し、文部省の田中は工業教育にも注目した。『理事功程』の第14巻はスイスに関するものであるが、目次には「工商學校」、「下等工學校」、「上等工學校」と書いてある。(引用省略)

『理事功程』関係の資料としては、工業技術の視察はスイスに限られている。工部省の就任者ではなく、文部省の就任者がこの調査をしたということは、注目される。これに対して工部省に就任していた肥田為良他が出した報告書には工業教育については何も記録されていないのである。したがって、使節団の欧米訪問のとき訪れた工業教育機関を全体的に観察するために久米邦武編の『米欧回覧実記』における技術教育に関する記録を検討してみよう。

『米欧回覧実記』は1878年に、使節団の一人のメンバーであった久米邦武(1839-1931)が編修したものである。この著作は外交等の報告書ではなく、各国の「実状」の報告書である。使節団の帰国して、約5年後で来たものだから、すべての初期データが記録されているかどうかは不明である。また、初期データも含めて、岩倉使節団の見聞が、すべて記録されているかどうかについても明確ではないという問題はある。それはともかく、とりあえず『米欧回覧実記』に記録されているデータだけでも見ておきたい。

さて、使節団の工業技術教育関係の視察をみよう。使節団は1872年7月13日にイギリスに着

き、イギリスに関する総説に久米がまず大学教育について書いている。(引用省略)

当時イギリスの大学における工学教育の導入は、特にオックスブリッジでは遅れており、久米も言及していない。他の国の訪問のときも同様であるが、駐日全権大使として H.パークスは一時帰国し、使節団の案内に当たっている。在日当時パークスはすでに、明治政府の工学・技術教育機関設立の相談にあずかっていた。しかし、『米欧回覧実記』にはパークスがオックスブリッジをはじめ各地の学校での工学・技術教育を案内し、使節団が自らの眼で、工学・技術教育のあり方をみる機会をつくったようには見られない。工部大学校の設立計画を応援していたパークスは、イギリスの工学教育及びその最近の設立過程について説明しなかったのだろうか。この質問には資料的には答えられない。しかし、その他のイギリスの大学についても久米が記録していることは非常に一般的な観察であることは注目しておいてよからう。

使節団は 8 月 27 日にロンドンからたつて、リヴァプールに行っている。その訪問中、使節団はマージー川を遡り、海軍のトレーニング・シップを見学したが、この場合もあまり詳しい記録が残されていない。(引用省略)

その次に、9 月 2 日から 6 日までマンチェスターで過ごした。マンチェスターの滞在中、使節団はオウエン・カレッジ(Owens College)も訪問した。1860 の後半のイギリスには工学関係に新しい世代が生まれ、オウエン・カレッジで Osborn Reynolds が教鞭をとったが、彼はグラスゴー大学のランキンに比肩しうる人物であった。しかし、『米欧回覧実記』においてこの点に関して一言も書かれていなく、主に学校の施設や学生の人数などに注目されているのみである。(引用省略)

9 月 10 日から 18 日までエディンバラを訪問し、12 日に大学及び付属の王立スコットランド博物館(ロイヤル・スコッティッシュ・ミュージアム)を見学し、ロバート・クリスティソン卿や司書に大学を案内された。(引用省略)

9 月 22 日に使節団はブラッドフォードに着き、翌日約 38 キロ離れているソルテール村に向かう。そこで、アルパカ工場の社長は、従業員のため小学校をたて、そこで半日初等教育を受けさせ、半日就業させていたが、その施設に関して、久米は非常に関心を示している。(引用省略)

さて、次にフランス巡遊のときは、次のような技術教育機関を見学している。まず 1747 年に設立された Ecole de Ponts et Chaussees 及び 1783 年に設立された Ecole des Mines についての記録を検討したい。後者は 1765 年のフライベルクの鉱山学校(Bergakademie Freiberg)を参考に創設されたものである。(引用省略)

スイスのチューリヒには、使節団の訪問より約 20 年前に設立されたチューリヒ連邦工科大学があった。大陸でのエコール・ポリテクニクに発する工学教育の流れの中で設置された「最先端」の工業大学である。使節団は、この大学を使節しなかったのだろうか。大学側の訪問記録には、使節団が正式に訪問したとの記録はない。

5-4 岩倉使節団と工学寮の基本構想

—岩倉使節団の日本工業教育制度確立過程における役割—

岩倉使節団は結局イギリスにおいては工業教育ないし技術教育的な専門機関は、イギリス自身の制度的な遅れもあって、見るべき調査を行っていない。他方、ヨーロッパ大陸においてはドイツでは工業教育機関を視察していないが、フランス、スイスで幾つかの視察が行われている。

岩倉使節団の役割からすると、前述のように使節団の一つの目的は、ヨーロッパ近代工業から教育に至るまで幅広い分野においてできるだけ直接、欧米から学ぶことだった。また岩倉使節団のメンバーはイギリス滞在中では、マセソン商会に依頼して、技術教育関係の人選を行っている。これは、明治新政府の従来の方針の枠内での行動である。

彼等の、視察旅程中、ヨーロッパ大陸の教育機関も訪れている。チューリヒにも行っている。しかし、視察した結果、従来の方針を変更してヨーロッパ大陸の技術教育を、日本に導入するということはやっていない。岩倉使節団は、チューリヒの工業教育機関を実際はみている。しかしその先進的な意義を理解したかどうかは別である。しかし、それを直接導入するという形では、日本の政策に反映させることはしていない。なぜかいろいろな想定ができると思われる：

- (1) イギリスの方が進んでいると考えた。あるいはどちらでも同じだと思った。
- (2) イギリスに頼んでも、イギリス人がイギリスより更に進んだ大陸のものも組み込んで、日本に持ってきてくれると考えた。
- (3) ある程度イギリスにやらせ、あとで必要とあれば軌道修正する等など。

岩倉使節団がどう考えたか、今の所確認できる資料はないが、(1)だとすれば、岩倉使節団の力量の評価にも関わる。(2)であれば、ダイアーが考えたものがたまたま日本側の期待に沿うものだった。それはある意味での偶然と言うことになるし、イギリス式の教育方法に終始したプラントンのような人物ではどうであったかという新たな問題が起きてくるだろう。

結局、工学寮によって本格的に開始される日本の工学教育の制度化は、これまで言われてきたように、幕府時代からのマセソン商会と薩摩などの討幕派勢力の結び付き、イギリス公使パークスと新政府との結び付きによって、新政府主流の人脈がイギリス・コネクションによるものであったという以外にない。しかし、そのような事実関係だけでなく、その事実の日本工学教育史上の意味についてもさらに検討しておかねばならない。

それは日本では幕末に形式的には、フランス式の技術教育がいったん導入されるが、それを土台にした技術・工学教育制度の拡充という方向に向かうのではなく、明治維新という社会体制の変更によって、新しい別の理念による制度化が行われたということである。

しかも、そのイギリス的な方法は、大陸の方法を加味することによって、日本でいったん廃棄されたフランス的なものが再度持ち込まれたのである。

第6章 ダイアー構想と工学寮の検討

6-1 工部大学校の設立とダイアーの教育背景

すでに触れたように1870年、伊藤博文、大隈重信ら一部の旧長州・薩摩藩勢力は、大久保利

通派に対抗しながら殖産興業担当部局として、イギリスのインド統治機構の一つであった Department of Public Works をモデルとして工部省を設置、翌年工学寮を工部省内の一等局としてつくった。その下に、教育施設として工学寮（通称工学校）を設置し、周知のように、その都検としてイギリスから Henry Dyer (1848-1918)を招いた。

1871年に山尾と伊藤は工部大学校の教師人選を決定すべきということで、1863年にも密出国のとき世話になったマセソン商社に依頼した。マセソン商社は W.ジャーディンと J.マセソンのパートナーシップで、当時マセソンはロンドンに滞在していた。岩倉使節団の副使として欧米を訪問する伊藤博文は直接に彼と話すということになっていたから、その人選はイギリスで行われることが決定されていたことがわかる。

ダイアーは、1873年に工部大学校の都検として選ばれるが、当時彼が応募のとき提出した書類はグラスゴー大学のアーカイブズに保存されている。

6-2 工部大学校の基本プランとカリキュラム

よく知られているように、工学寮（工部大学校）の基本構想と教育カリキュラムはダイアーがつくった。その間の事情に若干ふれておこう。

彼は、日本赴任の打診を受け、グラスゴー大学で勉強中の頃からすでに工学教育のあり方を考え始めている。ちょうどこの頃 1869年に、1825年にグラスゴー大学を卒業し国家的規模での体系的な技術教育の樹立を唱えたスコット・ラッセルの『イギリス人のための体系的技術教育』が出版され、この本によって大陸とりわけドイツとスイスにおける工学教育の実状を知った。こうした知識をもとに、ダイアーは後に工学寮のカリキュラムを考えていくことになる。

ダイアーは、イギリスの工学教育方法に対しては、問題を感じていた。彼によれば、当時のイギリスでは、まだ一人の教師が、様々な専門分野を教えており、しかも実習を体験する施設もなかった。そこで、イギリスの方法をそのまま日本に導入しても有効ではないと考え、専門分野ごとに担当教師を決めた。その分野は、工部省の各寮に相応させてあった。従って、分野としては 1) 土木工学 2) 機械工学 3) 電信（のちの電気工学） 4) 建築 5) 応用化学 6) 鉱山学の学科がつくられ、数年後には造船学及び冶金学が加えられた。そして、学科とカリキュラムの構造は、各学科の専門科目だけが異なり、カリキュラムの基本構造は共通している。

工部大学校は6年制で、最初の2年の所定の履修をおえた学生は、次の4年間からなるコースに進学ができた。実地と理論の調和が重視されて、いわゆるサンドイッチ・コースが特徴となる。

ダイアーは日本人学生はまず英語、それから初級数学、物理学と製図学を勉強すべきであると考えた。ダイアーは実地よりも、理論を重んじているわけではないが、後者の体系的な基礎をつくっておかないかぎり、学習者も知的な仕事ができない、したがって、16歳時の少年の工学教育状態はその次の6年の学習を左右するものであると述べている。

こうした考えから、入学試験科目は次の通り数学と英語中心にされていた。

勉学の仕方は、最初の二年間は学生はカレッジで勉強し、試験を受けて最低限の50%をとらない限り、進学を許されなかった。イギリスの技術教育機関と違って、基礎の知識に欠けてい

る日本人には集中的に理論を習得する必要があるとダイアーは考えていた。

3・4年生になると、半年はカレッジで勉強し、半年は工事現場で実地する。つまり3年生と4年生のときは、土木工学の学生は測量、鉄道、港湾等の設計に参加する。短期間に完成する工事に参加させれば、学生は自分の仕事の完成を見ることができ、効果が大きいと考えられた。

他方、機械工学の学生はカレッジの管轄である赤羽製作所で実地教育をうけることになっていた。赤羽製作所はもともと1871年に佐賀藩が製鉄機械を寄贈した結果、製鉄寮ができたが、1874年にダイアーが監督になって、工部大学校の学生のための実地の場所になったものである。

6-3 工学寮（工部大学校）とヨーロッパ工学教育の比較

つぎに、工学寮の教育機関としての特徴が、どういう点に認められるかを検討するが、そのためにまず、当時のヨーロッパの工学教育と比較してみる。なぜなら、従来、工学寮(工部大学校)は、ヨーロッパ大陸の理論的な教育とイギリスの実地的な性格を兼ねあわせた世界最高の工学教育機関であったと評価されてきたし、さらに工学寮(工部大学校)はチューリッヒの工科大学をモデルにしたものであるとも言われてきたからである。すなわち、工学寮は、当時最高の工学教育の実態を備えていたか、あるいはチューリッヒ工科大学をモデルにした、チューリッヒ工科大学的な工学教育機関として工学寮(工部大学校)を位置づけられるのか、ということである。

そこで、当時あるいは、それより少し前のヨーロッパの工学・技術教育の状況と比較しながら、こうした問題を検討してみたい。

まず、イギリスの状況であるが、既に触れたように大陸と比較すれば、イギリスの工業教育・技術教育の制度化は立ち遅れていたことは周知の通りである。技術教育は、19世紀後半に入っても未だ工学教育は体系的に行われておらず、技術者は現場の経験を積みながら育っていた。

1867年のLyon Playfairの書いた手紙にまとめられているように、イギリスの工業教育はフランス、ドイツ、スイス等と比較して、非常に遅れていた。そのため、工業教育についての従来の研究ではイギリスの実地的な教育に対して、理論に基づいている大陸の教育制度が一般に検討されている。

先に触れたように、グラスゴー出身のスコット・ラッセル(Scott Russell)は1869年、Systematic Technical Education for the English People (イギリス人のための体系的な技術教育)でイギリスにおける技術教育の体系化を求めた。

ラッセルは単なる造船技師ではなかった。1867年のパリ博覧会のときにはイギリス側の審査員の一人としてパリに派遣され、当時の世界の工業の発展の現状をよく知っていた。そのとき、例えば鉄の生産分野とか軍事関係の分野とか鉄道関係の分野でもイギリスはフランス、ドイツと比べて、随分遅れていることに気がついた。その遅れの原因としては、ラッセルはフランス、ドイツの教育制度の発展に対して、イギリスの工学教育が遅れているからとしている。1851年

のロンドンの博覧会のときと1867年との間にイギリス以外の国では一世代の習熟技術者が育てられたのに対して、イギリスの若者はまともな教育を受けていないから技術そのものも、15年間ほど進んでいなかったということを指摘している。

また、スコット・ラッセルは当時のヨーロッパの工学教育機関を分析し、その体系的性に注目している。チューリッヒ連邦工科大学についても研究し、三年制から六年制に変えること、さらにまた、毎年の六ヶ月間は学生は大学で勉強し、六ヶ月は工房などで教育を受けることを提案しているダイヤーが、チューリッヒ連邦工科大学からヒントをえたとしたら、工学寮を6年制にしたことは十分に考えられる。もちろん、工学寮の教育体系は、あとでみるように、チューリッヒ連邦工科大学をそのまま導入したものではない。

次に、工学寮の特徴の一つとして、従来言われてきた大陸の「理論」（重視の教育）であるが、たしかにドイツではフランスのエコール・ポリテクニクの影響を受けた理系の基礎科目を教育する方法をとってきた。1806年のプラハの Polytechnisches Institut や 1815年のウィーンの Polytechnische Schule そしてドイツ主要都市で19世紀に設立された Polytechnisches Institut(ないし Schule) では、フランスのエコールポリテクニクとは違って社会的位置こそ大学レベルではなかったが、理系の基礎科目を履修した上で専門的な技術者を養成するという新しい工学教育制度をつくりつつあった。

しかし、ドイツの Polytechnische Schule での工業教育は単に理論を座学として教えるだけのものではなかった。技術教育の目的とされたのは、実地的な専門家すなわち実際の生産現場で役に立つ技術者であった。したがって、理論とともに実地的能力の養成も早くから重要視されていた。ダイヤー自身も、理論と実地の両立の必要性が早くも1827年から取り上げられてきたと指摘している。例えばバイエルンの大蔵大臣のモツ(Motz)と内務大臣のシュックマン(Schuckmann)は工業学校では作業場を増やすための資金を当時の領候に請願している。

さらにまた、1834年までウィーンで教鞭をとり、その後チューリーヒの工科大学で実用数学のポストが開かれたときには、そこに応募して、就職した Redtenbacher は、ウィーンより自由な雰囲気のあるチューリーヒでは社会構造と工業教育と経済発展の三つの要素を調和させることができると言っている。

1825年に設立されたカールスルーエの工科大学も、ウィーンの工科大学と同じように、バリエのエコール・ポリテクニクの影響下につくられていた。こうしたドイツの学校がバリエのエコール・ポリテクニクと違ってしたのは、軍隊、工兵隊のための教育を行わず、民間工業の発展をめざしてつくられたことである。

さらに、1830年代には内務大臣にもなったネベニウス(Carl Friedrich Nebenius)が、技術教育の改革を行っている。彼はバリエのエコール・ポリテクニクとエコール・セントラルを基にして、カールスルーエの工科大学を二つの基本的なコースに分けた。一つは general technical college で、フランス語、歴史などが教えられていた。そしてこの上に、五つの専門学科のコースがつくられた：

- 1) 土木 (3年制)
- 2) 建築 (3年制)

- 3) 農林 (2年制)
- 4) 貿易 (1年制)
- 5) 工業 (機械工学と化学工学を含めて) (2年制)

こうしたドイツの工業学校が、実地的な技術教育をめざしたことは、ウイーンの Polytechnische Schule の創立者アルトミュター(Georg Altmuetter)が、道具・機械蒐集館の設置を進めた点にも見て取れる。生産に必要な基本的な道具や最新の機械をあつめ、学生たちに体験させ、そして製図の訓練を経て設計させるという、この発想は、アルトミュターの下で育ち、ハノーヴァーの Polytechnische Schule の創立者となったカール・カールマルシュによって受け継がれ、ドイツ各地に広まったのである。こうして、ドイツの教育方法にも、実地的な性格が取り入れられたのである。

工学寮の特徴として、「イギリスの経験主義と大陸の理論」の結合という表現で、当時世界でもっとも進歩的な(レベルの高い)工学教育機関となったと捉えたとするならば、それは単純すぎる把握であろう。

次に、いわゆる工学寮のチューリッヒ・モデル説を検討してみよう。

先にのべたように、ダイヤーは工学寮のモデルとして、チューリッヒ連邦工科大学をとったと言われていた。三好がこの説を否定しているが、その根拠を明確にはしていない。そこで、ここではチューリッヒ連邦工科大学の学科、科目など内容的な比較をおこなって、チューリッヒ・モデル説を検討しておきたい。

チューリッヒ・モデル説は、実は『工部大学校史料』のなかで、ダイヤーが説明したとされていることが起源のようである。それならば、どのような形で、ダイヤーは、チューリッヒを参考にしたのか、比較検討してみたい。

理論を大事にする大陸の技術教育は、フランスのエコール・ポリテクニクから、ドイツの技術教育へと流れ、その発展として、チューリッヒ連邦工科大学はすでに19世紀の60年代に高く評価されていた。

チューリッヒに、工業学校(のちの連邦工科大学)が設立されたのは、1855年で、明治維新の約10年前のことであった。ドイツの経験を踏まえた新しい学校とするならば、これはヨーロッパでは最新の工業教育機関であったといえるかもしれない。

学校の構成は、予科と、6つの専門学科、それに自由学科であった。

- 1) 建築 (3年制)
- 2) 土木 (3年制+6カ月)
- 3) 機械 (3年制)
- 4) 化学 (2年制)
- 5) 森林及び農学 (2年制)
- 6) 数学及び自然科学の師範学校 (2年制)
- 7) 自由学科(一般哲学及び国家経済学)
- 8) (数学) 予科

予科は実務出身の学生が言語学的困難若しくは予備知識が不足している場合にはすぐに各学部に入學できないことがあり、その場合生徒は1年間予科の授業をフランス語とドイツ語で受けるためのものであった。その授業科目は次の通りであった：

- 1)数学
- 2)力学
- 3)画法幾何学
- 4)実験物理
- 5)三角測量及び技術製図
- 6)フランス語
- 7)ドイツ語

このチューリッヒ連邦工科大学と工学寮(工部大学校)を比較してみよう。両者が、ドイツの Polytechnische Schule と同様に、幾つかの専門分野を包括し、共通的な基礎科目の履修をもとにした専門技術者を養成する形態は、共通している。もちろん、これはイギリスには全くなかったもので、大陸のすぐれた方法を示すところのものである。

それから予科と本科をわける発想もチューリッヒに見られる。

逆に、相違点をみると、専門学科(コース)の分野の違いがあるのは、それほど本質的な問題ではない。もっとも大きな違いは、チューリッヒの自由学科の存在である。工学寮では、こうした分野の教授はなかった。また、自由学科そのものだけでなく、チューリッヒでは、いずれの6つの学部において、無条件で一般哲学及び国家経済学などの自由学科の科目の勉強もしなければならぬ。

この自由学科の状況をもう少し詳しく見よう。ここの学科で教えられた学科目は、工学寮設立年の1873年冬学期には、次のようなものがあつた。

I)自然科学

1)実物物理学 2)復習講義(ドイツ語) 3)復習講義(フランス語) 4)顕微鏡演習 5)一般植物学 6)鉱物学 7)結晶学 8)古生物学 9)第3紀学 10)植物分類決定 11)動物学 12)創造(生)史 13)一般気象学 14)炭素化合物 15)物理地理学 16)1650年以前地理発見史 17)三角測量 18)火山及び火山学 19)ワイン醸造 20)一般植物学 21)一般植物学関連の顕微鏡実習 22)隠花植物学 23)自然種の起源に関するダーウィン理論及びその科学的、社会的及び宗教的な活動における意義 24)薬物化学 25)芳香族、蛋白質及び炭水化合物 26)地理学及びその化学的関連 27)石炭系及びその化学的技術的関連 28)技術化学特論 29)技術解析 30)健康学選抄 31)芳香族化合物 32)有機化学演習

II)数学

1)数学的光学 2)画法幾何学応用 3)数論基礎 4)解析幾何学 5)音響学 6)物理学実

験入門 7)電信及び鉄道安全電気設備 8)電気の数学理論 9)高等天文学選抄

III)語学、文学

1)古代からシラーまでのドイツ文学史 2)伊文学：ジウスティと同世代の文学者の風刺 3)伊文学：ソネット史 4)伊語（上級） 5)伊語文法演習 6)近代イギリス小説テニスン詩講義 7)シェークスピアのリチャード三世 8)英文法演習 9)17世紀仏文学史 10)仏近代詩人の選集の音読及び説明 11)仏語初級文法 12)イギリス演劇及びシェークスピア

IV)歴史及び政治学

1)アメリカ史、特に合衆国史 2)1870-71年独仏戦史 3)古代文化史—エジプトからロンペイまで— 4)銅板と木版画史 5)一般経済理論 6)金融論 7)最近100年世界交通と商業政策史 8)国民経済学的問題のディスカッションと演習 9)工業経営 10)工業企業経営基礎 11)スイス、ドイツ及び北米合衆国比較

V)文芸

1)装飾図、色彩、デコレーション 2)水彩、セピア、鉛筆による風景学 3)人物スケッチ 4)石像と装飾のモデル演習

以上の冬期コース科目に含まれていない夏期コースのみの歴史及び政治学の科目は次のようになっていた。

1)19世紀史（第二部） 2)中世芸術史 3)考古蒐集の彫像解釈 4)近代スイス史 5)ハンガリー史：マリアテレジアから1848年革命まで 6)文化史：エジプト、アッシリア、フェニチア、からベルシアまで 7)造形芸術の美学 8)経済政策（実地国民経済学） 9)社会問題 10)工場、農地、経営施設等及び国民経済的施設の見学 11)産業経営理論 12)紡績、機織経営

カレンダーに掲載されている科目をみてわかるとおり、エンジニアにとっては歴史、政策、経営等の知識も必要だとされた。特に経営の知識は高等教育の一部として考察され、エンジニアは支配人になった場合、企業の経営できるようにまず経済を習得する必要がある。そこで、外国に関する知識も要求されている一方、スイスの当時の状況にも注目することが要求され、様々な設備の見学も重んじられた。

繰り返しになるが、チューリッヒ工科大学では「専門家」(specialiste)の教育だけではなく、「人間」(homme)の教育自体も学校の目的とされた。これは、工学寮とは大きく異なっていたのである。明治の教育体系では文科系は、東京大学に任せたと分業論的に解釈できないわけではないが、技術者教育をより技術的なものに狭く限定したことは否めない。

ドイツの工業教育でも、Polytechnische Schule で文系の授業を行うことは、産業や企業経営あるいは社会的諸問題の関連で徐々に認められるようになってきていた。例えば、ハノーヴァ

の Polytechnische Schule では、1872 年から週 2 時間の経済学の授業が始まったし、法学は 1862 年からあったのである。

6-4 ダイアーの工学教育論

前節に見たように、工学寮（工部大学校）は、ヨーロッパ大陸の Polytechnische Schule ないし Technische Hochschule をそのまま移植したものではない。チューリッヒの工科大学とも基本的な理念と構成に違いがある。では、工学寮の基本形態をつくったダイアーの工学教育の理念や工学寮の特色は、いかなるものであったのかを再検討する必要がある。また、日本に向かう船の旅で、作成したと言われるダイアーの工学教育プランは、変更無く日本側に受け入れられたというが、本当にそうであろうか。

まず、従来から言われてきた理論と実地の組み合わせによるサンドイッチ型の教育方法について見よう。この問題では、まず工学寮のカリキュラムから見ると、座学による理論学習は、冬学期が主でしかも学年が上に進むにつれ、実習がおおくなり、5、6 年は殆どが現場での実地となり、理論は急速に減っている。ドイツやチューリッヒと比較すれば、明らかに工学寮の方が理論学習の点では少ない。

当時、日本では電信建設でも、灯台建設でも殆ど過去の蓄積が無く、電柱一つ建てるにしろ、全く初歩的な作業を覚えていかなければならなかった。実際の作業に当たっては現場を監督するお雇い外国人の硬直的な指揮があったこともよく知られているが、ともかく現場を覚えるしかなかった。この点、早急に外国人の援助から自立して日本人が自ら建設能力をつけるには、実際の作業実習が多くならざるを得なかった点は、斟酌できようし、その点ではダイアーのやり方は、なおイギリス的なものが多く残っていたと見るべきであろう。

もちろん、理論学習を導入しようとした点は、無視できない。この点は、他のイギリス人技術者とは違う点が、明らかに見られる。たとえば、明治政府のお雇い外国人第 1 号のブラントンと比較してみよう。実は、この両者の間には、工学教育・技術教育をめぐる、論争があった。

1875 年 9 月の『ジャパン・ウィークリ・メール』に、ブラントンは次のように書いている。「江戸の工部学校では、理論を重んじるやり方をとっている。しかし、今、日本人にとって一番必要なことは橋の作り方や、鉄道の設置のしかた、港のつくりかた等を習うことで、それはできるだけ短い期間に（日本人が）やりたいと考えているのだ。」

これに対してダイアーは一週間後次の通りに反論している：

「ブラントンさんがよく知っているスチヴェンソンは、クンブラエ灯台建設にあたって、時間をみつければ数学と機械工学を教えてもらうためにアングソン・カレッジに通っていた。これは非常に意味深いことだと思います。」

この論争は、イギリスにおいて行われていた技術教育に関する議論がそのまま日本に反映したものであったといえるが、もちろん実際に日本で実施されたのはダイアーの教育方針であったことは言うまでもない。

現場で教育していくブラントンのやり方に対して、ダイアーは理論的素養がどうしても必要

なことを強調している。こうした点でのダイアーの特徴は、後に彼がイギリスの工学教育改革について提案した時にもよく現れている。

当時イギリス内では工学教育は色々な動きはあったが、まだスムーズに進んでいなかった。例えば、イギリスの土木技術者協会 (Institution of Civil Engineers) はインドの技術学校の設立に反対している。その基本的な理由として学生の教育は統一したら、過去のような立派なエンジニアは現われないという点があげられていた。一方ダイアー自身もそのカレッジに関してあまりいい評価していない。彼の場合は実地の時間が限られていることを問題として取り上げている。

1879年にダイアーは土木技術者協会に技術教育に関する論文“The Education of Civil and Mechanical Engineers”を提出した。しかし、協会はこの論文の発表を断わっている。ダイアーはイギリスで工学教育に関する議論を興すつもりでこの論文をだした。しかし、土木技術者協会等の団体のメンバーでは体系的な工学教育を受けていない人が多く、この問題に関心を示すこと自体がもともと無理だったのではないと思われる。さらにまた、例としてダイアーがとりあげている工部大学校を成功例として取り上げるのも早すぎたと思われる。

ここで注目すべきことは土木技術者協会がダイアーに直接に論文を郵送しないで、論文についている1879年3月25日付けの手紙の宛先から分かる通り、マセソンにダイアーへの返送を依頼したことである。1873年に工部大学校の教師の人選においても重要な役割を果たしたマセソンは、ダイアーが来日してからすでに6年も経っているのに、この場合も仲介者の立場にあったことがうかがえる。

上記の論文“The Education of Civil and Mechanical Engineers”を執筆して7年後、ダイアーは工学教育に関する別の論文を出している。これは、イギリス帰国後に書いたもので、グラスゴー&ウェスト・スコットランド・テクニカル・カレッジができてからまとめたスピーチである。

1887年の論文ではダイアーはイギリスの事情を強く念頭においている。従来の大学には神学、法学、医学といった伝統的な学科のみでなく、科学と日常生活の関連の、新しい学科を加える必要があるし、同時に新しい大学を設置する必要があることを述べている。もちろん、彼の主張はすぐには受け入れられなかった。

工学のあり方についても提言している。当時、エジンバラ大学の工学の教授は、工学は大学のレベルでは専門分野に分ける必要がないと主張していた。学生は工学全体を一つの科目(分野)だと考えた方がいいからであると考えていたのである。これに対して、ダイアーは、例えば植民地へ働きに行くエンジニアが、一般的な知識しかなければ、実際の仕事はできないだろうと反論している。

ダイアーの実地と理論の関係に対する主張も、日本滞在時代以来、基本的に変わっていない。ロンドンのユニバーシティ・カレッジでは純粋科学が教えられると同時に土木工学、機械工学、建築、応用化学の各学科が設置されていること、さらにそれぞれに実験室、設計室と工房がついていて、そこで学生の機械等に関する能力を発展させる方法がとられていることに注意を向けている。そして、グラスゴーでも、当時の要求に応じる技術教育機関の設置が必要であると

主張している。講義(工学教育)でも、その第一の目的は学生の頭を働かせることで、単に科学の原理を教えることだけなら、学生は書籍で勉強する方がいいというのがダイアーの主張であった。

ところで、ついでに言えば、イギリスの技術教育機関のためにダイアーが提案した計画は工部大学校のコース計画とは違っている。コースは二つの段階に分けられ、最初の3年間の6ヶ月はカレッジで勉強し、6ヶ月は工事現場で過ごすものである。残りの3年間は殆ど完全に実地(工事現場)に使うものである。ダイアー自らの観察と体験によって、全然実地の経験のない学習者よりも、現場で経験を積んだ学習者の方がカレッジで早く上達するという。一方、理論の勉強と同時に実地が行われる場合は、仕事もうまく進むと指摘している。

土木・機械工学技師のためのカレッジでのコースには次の科目が教えられるべきだとしている：

土木	機械
一年生	一年生
数学	数学
物理学	物理学
化学	化学
地質学	地質学
製図学	製図学
二年生	二年生
応用数学	応用数学
機械	機械
製図学	製図学
測量学	製作所
三年生	三年生
特別建設(例えば道路、 鉄道、港湾、運河等)	機械製図学
製作所	原動機
土木製図学	製作所
	製図学

このカリキュラムを見ると、明らかであるが、土木工学のコースの場合でも機械工学のコースの場合でも一年生と二年生の科目は殆ど変わらず、三年生のときだけ各コースの専門科目を勉強する。純粋科学(pure sciences)の教育は一年生にだけ行われるが、その理由は先ほど触れたように数学等の基礎知識がすでにあると推定されているからである。さらにまた、ダイアーは学習者が高級な理論を習得しても、実際に応用できないので、不要であると述べている。

上述のような工学教育を実現するには、製作所が不可欠である。そういうことは当時イギリ

スに導入され始めたのであったが、ドイツには数年前から存在した。

さらにまたダイアーは、学習者は専門科目の勉強ができるように、多数の教師の雇用が必要であると主張している。必要な教師としては 1) 応用機械工学(applied mechanics) 2) 土木工学 3) 機械工学の先生 4) 測量学と土木工学の講師 5) 製図学と機械工学の講師をあげているが、実はこの頃のイギリスではこの分野の教育は殆ど一人の教師に任せられていた。ドイツの技術学校では、すでにここで紹介されているスタッフより数多くの教師によって教育が行われていた。

さて、ダイアーのプランではカリキュラムに沿って勉強した学習者は試験を受け、科学資格証明書を受けることができる。しかし、学習者の応用能力はまだテストされていないことも同時に明記しておくべきことを提案されていた。

さて、土木工学の勉強をしてから、学習者はエンジニアの事務所で実地のために通う必要があるが、機械工学の学習者は勉強してから、せめて後 1 年間くらい工房で実地すべきであるとされ、理論と実地の勉強をあわせて、6 年間を経て、応用の知識に関する試験が行われるものとされていた。

<ダイアーの理想のエンジニア及び工学教育>

ダイアーの技術教育論の特徴は、社会における技術者の重要な役割に対する認識が基礎になっている。彼は、スエズ運河の建設とか、世界中の電信線の敷設とか、シベリア鉄道の敷設等の例をあげて、それぞれの地域にこのような技術は重要な意味をもったことを指摘している。したがって、彼はエンジニアの技術的な側面だけではなく、社会において与える影響力をも強める必要があると主張する。要するに、エンジニアは社会の動きを分析する力を持ったうえで、自分の作業（専門）で社会の福祉のために働くべきであるというのである。

当時、ダイアーの眼からすれば、イギリスの工学教育には欠けているところがあった。いわゆる人文科学関係の科目、取り分け歴史、倫理と経済学が教えられていなかった。このような知識なしでは、エンジニアというものは時代の変化についていけないとダイアーは明確に主張している。さらにまた、科学・技術の知識があっても政治、社会にも注目しない限り、国の優位を維持することは困難であるとも述べている。

工学教育のあり方についてはダイアーは日本滞在中書いている。特に、来日 6 年後前記の“The Education of Civil and Mechanical Engineers”を書き、そこで彼はまず工学教育のあり方が論じられている。彼によれば工学教育とはエンジニアのアシスタントになるために学生が受けるべき教育のことである。また、その教育はあくまでも基礎で、学生は卒業後も自分の教育を続ける必要があると述べている。

1879 年の工部大学校の第一回卒業式のとき、ダイアーは「専門職業教育」について講演している。さらに、その数日後同学校の Dialectic Society で「非専門職業教育」について語っている。

ダイアーの卒業生のための講演では、当時のヨーロッパの工学教育の現状をまとめ、二つの傾向に分けている。一つは理論中心の大陸（ドイツとフランス）の傾向だが、学校を卒業した技師は高級の専門知識を持っている代わりに、実際に仕事もできないし、設計しているものも殆ど

まねによるものばかりである。一方、イギリスでは、実地が重んじられ、オリジナルな仕事が行われているが、エンジニアが専門の勉強をしていないので、失敗に終わった作業や無駄な作業が非常に多いと述べている。

大陸に関するダイアーの語ったことは非常に片寄っているように思われる。彼は例えばドイツの学校に工房等がついていることも、実地についても論じられていることも一切述べていないのに対し、工部大学校の理論と実地の調和を自慢げに指摘している。

「非専門職業教育」については文学や哲学、美術の重要性を強調し、在学生の一般教養について語られている。そして、エンジニアの教育でこのような科目の知識に欠けると、エンジニアは狭い範囲でしか動かない(仕事しない)から、できるだけ文系の教養も蓄積したほうが良いというのが、ダイアーの論理であった。歴史の勉強も大事だから、その関連で美術館や博物館の建設も望ましいという。さらにまた、発明の元になっている想像力を生かすことも重要であり、そのため文芸の勉強も望ましいが、ダイアーが当時の日本の美術は昔のように盛んではないと詳しく論及している。また経済学の勉強も必要で、工部大学校の学生の中で官僚等になる人は少ないだろうが、彼らの専門的な知識を元にして、市民の意志が実現できるように様々な基礎知識を持たなければならないと主張されている。

以上の科目の他に、ダイアーは倫理などの勉強も勧めている。しかし、彼は工部大学校でその科目の教育は実現できなかった。こうした、エンジニアの一般教養に不可欠な部分とされる科目は日本国内の事情で、実現されなかったのである。

工学寮(工部大学校)では、すでに見たように、非専門科目としての人文的、あるいは社会科学的科目は語学を除いては見られず、ヨーロッパ大陸とは大きく異なっていることも既に述べた。この点は、いかに理解すればいいのか。赴任途中の船中でのダイアーの構想は、日本側にすべて受け入れられたとあるが、しかしこの点を含めると、そのように理解しづらい。

ダイアーは、技術者の社会的役割と絡んで、工部大学校卒業者に技術者(はじめは技術者助手)の団体を結成すべきことも工部大学校の学生たちに訴えた。

技術者の団体は、イギリスでは、市民社会の形成過程において技術者の責任と自ら社会的利益を擁護するものとして重要であった。ドイツでも、Polytechnische Schuleの卒業生たちは、工業学校の充実や技術研究の進展、ボイラー問題の研究などの社会的な課題の追求や自らの社会的利益の擁護などを目的にして技術者連盟をつくった。

こうした技術者団体の結成をダイアーは、日本でもしばしば訴えている。たとえば、1879年にも、卒業式に応用科学(Applied Sciences)の発展と普及のために他の国にはすでに存在している工学会と同じように、日本にもそのような学会を設立することを提案している。学会の目的は技術的な知識の交流であり、自分の専門分野と違う知識を得る一つのチャンスでもであると、その後も説いている。

ダイアーが説明するように、「エンジニア」の語源は「エンジン」ではなく、ラテン語の「ingenium」「才能」である。その「才能」で、どんな問題を与えられても、解決できると期待される。そうした「才能」は幅広い分野で応用できる。工部大学校において土木工学、機械工学、応用化学、造船、電信、建築、冶金、鉱山の各学科があるが、広い意味で言えば、これは

全部土木工学に入っていると云える。そうした「才能」を社会的に機能させるものとしての社会団体（協会）が必要だというのである。

工部大学校第1回卒業生の一人曾禰達藏によれば、この講演の後、1879年11月8日工部大学校第1回卒業生23名は

「生徒館の一階の喫煙室に集合して相談した。それは六年間同じ建物内にて寝食を共にした我々は今後時々会合して知識を交換し、工学を研究し、且つ親睦を厚ふしやうではないか、それには一つの團體を組織するのがよからずや、且つ今後年々若干名の卒業生が加はるのであるから其の團體の名稱を定め・・・」た。

つまり卒業生は工学の研究発展のため働き、留学直前「簡単な規則を定めた」と記録されている。その規則は現在日本工学会には残っていない。

また会そのものも、結局は、同窓会的なものしかできなかった。卒業生達は、外国に留学したり、工部省内の各組織に埋没し、西洋のように横断的な社会組織として、独自に社会的関わりを視野に入れた自らの組織を持つことはなかった。

これは、市民革命による近代化の過程で技術者層がつくられ、技術教育が確立していく西欧と、政府主導で展開されていく日本社会の中の技術者教育の違いとしてとらえられるであろう。

第7章 結論

明治以来の近代的な技術・工学教育の開始は、一般に工学寮（工部大学校）から本格的にはじまるとされる。工学寮の意義は否定されるものではないが、ヨーロッパ的な方法に基づく工学教育の導入の歴史というより広い視点でみるならば、日本におけるヨーロッパ的な工学教育の方法は工学寮からいきなりはじまったわけではない。工学寮以外にも、明治初期には、電信寮修技費のように技術教育機関として工部省の各寮附属の技術学校がつくられた。このような技術学校と工学寮の関係を工学教育技術教育史上どのように整理するかということも、本格的には検討されてきていない。多くはそれらは、前史的に扱うのみであった。たしかに前史ではあろうが、しかし工学教育技術教育の内容や方法で発展史的に見て、工学寮とのつながりをどのようにみるべきかという点については定説はなかった。

この両者を合わせてみると、すなわち幕末明初の日本の近代的技術学校工業教育機関の展開過程は、技術教育の流れとしてみた場合、幕府の委任を受けたヴェルニの指導による横須賀費舎、次に明治新政府のお雇い外国人第1号でありながら、任務としては徳川幕府が締結した開港条例を実行するための仕事をした R.H.ブラントンによる燈台寮修技費の段階、それから工部省が本格的に殖産興業政策展開の一環として企画し、イギリスから招いたダイヤーによる工学寮—工部大学校の3段階に変化していると考えられる。東京職工学校の成立と工部大学校の東京大学工芸学部の合併は、新たな質的な変化をもたらすが、これは明治中期以降のことになる。

この変化の関係は、次のように理解されよう。まず幕府下の横須賀費舎において、フランス

に原点をもつヨーロッパの近代的な工学教育の手法が海事や造船という専門学校的な形態で導入された。しかし、この近代的な手法とは、幕府が倒壊し明治新政府が樹立されて工学教育のさらなる充実が要求されたにもかかわらず、明治政権下での制度的な発展として展開されることはなかった。

国内にすでに導入された方法を発展させるのではなく、新たに明治政権の人脈を通じてイギリスに近代技術・工学教育の導入が依頼された。そしてダイアーの工学寮プランが制度化されたのである。このプランには、イギリスのやり方だけでは十分でなかったので大陸の方法――すでに横須賀費舎では一部見られたもの――がつけ加えられていた。したがって、一般的な基礎をなす理論を教育していくという近代的な工学教育・技術教育の手法の日本への導入は、一度導入されたものの上に発展していくという形ではなく、いわば二重に導入されたのである。

そして、この間に過渡的に、プラントンの燈台寮修技費に典型的に見られるように、列強から押しつけられた不平等条約の実行のために現場工長的な技術教育が、持ち込まれたのである。

次に、では工学寮の意義をどのようにみるべきであろうか。本論で触れたように、近代的な技術教育工学教育の形成が、理論的な基礎を体系的に教育することを基礎に、分野毎の専門を確立していくことにあるとみるならば、たしかに工学寮のプランには理論教育が取り入れられた。この点は、理論とイギリスの経験主義的教育方法の結合ないしサンドイッチ方式と言われてきた。そして、この方式は本論で検討したように、当時イギリスの工業教育方法と比較すれば、ダイアーの提言はイギリスでは理解されずに拒否されたように、イギリスよりはるかに進んでいたものである。

しかし、工学寮の教育方法を特徴づけるにあたって、大陸の理論とイギリスの経験主義の結合の点が強調されてきたが、これにも幾つかの問題がある。まず、イギリス的な経験に基づく方法をカリキュラム上の実地演習に置き換えて、理想主義的に理論と実践の結合が工学寮で追求されたように理解されている。

しかし、工学寮の教育方法としては、どちらかと言えば、なお経験重視が強かった。それはカリキュラムの構成から伺える。イギリス的な方法を直ちに、当時の理論教育のレベルに対応した実践と理解することは短絡である。

二つ目には、理論と経験の結合をもって、工学寮のプランが世界的に高く評価されてもきたが、これも正確な評価ではない。この点では、あたかも工学寮がこういう方法をはじめて実現したかのように聞こえるが、実践的な方法はすでにドイツでは追求されていた。もちろん、ドイツでは「大陸の理論」と言われるように、理論教育でも先進を切っていたから、理論と実地というなら、それはすでにドイツで行われていたことである。

西欧の近代的な工学・技術教育の日本への受容過程からみれば、一旦横須賀費舎に導入されたものが、なぜその特殊な形態を脱皮してより一般的な工学教育機関設立へ向かわなかったか、むしろ新たに別ルートから、ヨーロッパのものではあるが、ヨーロッパの中で最新ではないものが導入されたのはなぜか、という問題は、結局は明治新政権の政権獲得過程での勢力争い、そして彼らの列強との結合から説明されるものである。したがって、この点では、まず第一に、

一般的に西欧からの導入といっても、明治の近代化においてかならずしも西欧の最新のものが導入されたわけではない。同時に、何を導入するかということは、日本の国内勢力の構造が関与していた。後の点は、当然と言えば当然なことである。つまり、明治の近代化過程で西欧の科学・技術が導入されたと言っても、一人歩きの「ヨーロッパの最新の科学・技術がすべて」日本に持ち込まれてのではない。この視点は、従来の近代化論あるいは、西欧科学・技術の日本への導入と近代科学・技術の諸問題を哲学的ないし思想的に検討する人々の間では、気がつかれていないようであるが、受容問題を扱うときは重要な視点である。

その関連で本論文では岩倉使節団を再検討した。2年近く欧米を視察した使節団のメンバーはいくつかの技術教育機関を訪問したが、結局ヨーロッパで技術教育の面で遅れていると思われていたイギリス、スコットランド人に工学寮の計画を念願することになった。確かに、スコットランドは工学研究自体では優れていた面もあったし、工学教育の面でもグラスゴー大学でも、エジンバラ大学でも工学関係の講座の設立のため努力もされていた。しかし、ダイアーがたてた計画はイギリスの技術教育制度のみを基にしたものではなかった。また大陸において、使節団のメンバーも伝統ある工学教育機関を訪問せず大陸の工学教育の実態に注目しなかったことは歴史的に無視できないところだと思われる。

次にこれに関連して、西欧の工学教育方法の日本的受容形態を検討するもう一つの課題が出てくる。これについては、二つの側面が明らかになった。一つは、工学寮の教育実態とヨーロッパの工学教育を比較してみれば、それは同じものではなく、工学寮では人文社会系が欠落していた点である。この点は、工学寮の目的がそもそも工部省の技術的幹部を養成することにあったから、日本の内部の事情、たとえば文部省と工部省との職掌分担から説明できないこともない。しかし、それだけでは説明できない。工部省のなかでも人文的社会的素養が不要だとすれば、それはそれですでに一つの教育方針に連なるからである。

そして、この点は、さらに明治政権の全般的な近代化と教育にかかわる方針上の問題にも連なることである。たとえば、明治11年に出された教育令原案をめぐる、保守的な儒教道徳を導入しようとする勢力と、より自由主義的な修正をしようとした伊藤博文との間で争いがあった。自由主義的な主張をした伊藤博文でも、彼よりもさらに広範な自由主義の広がりに対しては、反政府的になることを恐れて、「法科政学」を学ぶのはごく少数の優秀者のみに限定し、あとは科学や工芸技術百科の学を学ぶべきとした。換言すれば技術者教育には法制的な知識は不要であるかのごとき政策をとったのである。

もうひとつは、ダイアーの教育論と日本側の工学教育の受け入れ体制の問題である。ダイアー自身は、日本では確かに丁重にもてなされた。しかし、ダイアーの工学教育思想がそのまま日本に受け入れられる体制にあったかといえば、それは別の問題である。ダイアー自身、技術者の社会的な役割を強調している。しかし、カリキュラムにはすでに述べたように、ヨーロッパ大陸とは違って人文系法政系の科目は入れられていない。この点では、ダイアーの構想はそのまま受け入れられたとはいいがたい。

また、近代的な技術教育の確立の指標を、社会との関係で見るとすれば、市民社会のなかで、教育を受けた技術者が、封建的な枠内での同職的な社会関係を脱して、自らの社会的位置を確

立していくプロセスを見る必要がある。イギリスでも大陸でも、技術者は自らの社会的組織を確立していくことが重要な課題として提示された。

ダイアーも工部大学校で、自らの団体をつくるように訴えた。たしかに、同窓会的なものは一度はできたが、それはとても近代社会の確立に対応する技術者の自主的な団体とは言えないものであった。工学寮・工部大学校を歴史的に評価する場合でも、この点からも西洋とはちがった日本的な特徴をみることができると言えよう。

主要参考文献（邦文雑誌文献、洋書及び欧文雑誌文献を省略）

<一次文献>

稲垣喜多造訳『横須賀造船所略史<ジャパン・メール>訳』内務省 1878(郵政研究所附属資料館所蔵)。

「御雇い英人工學博士ダイエル數學博士マルシャル艦型師キング等着届」明治6年6月、国立公文書館 2A-9-公 800。

「工学寮學課並諸規則」明治7年12月、国立公文書館 2A9 公 1223

「工学寮入學式並學課略則」明治6年8月、国立公文書館 2A9 公 802

『航路標識年報』第1号 1902。

東京大学法学部附属近代日本法政史料センター原資料部『辰巳一関係文書目録』1998 1-2-3)：特に1873年9月13日からの‘Cours de la physique par Mr. Sarda’。

東京大学法学部附属近代日本法政史料センター原資料部『辰巳一関係文書目録』1998 1-3-7)：Cours d’architecture navale de l’ école du génie maritime fait en 1879。

『日本帝國政府電信頭第一報告書』自明治二年八月至同八年六月 1875 (東北大学付属図書館所蔵)。

『日本燈台燈船浮標礁標識覽表』1875 (国立公文書館内閣文庫 558-19A)。

『司法省理事功程』(10冊) 国立公文書館 2A 33-6 単 436. 445。

『文部省理事功程』(15冊) 国立公文書館 2A 33-6 単 446. 460。

『大蔵省理事功程』(11冊) 国立公文書館 2A 33-6 単 461. 471。

『宮内省式部寮理事功程』(1冊) 国立公文書館 2A 33-6 単 472。

肥田為良・吉原重俊・川路寛堂・杉山一成『報告理事功程』(1冊) 国立公文書館 2A 33-6 単 473。

内海忠勝報告『理事功程』(1冊) 国立公文書館 2A 33-6 単 474。

中山信彬報告『理事功程』(1冊) 国立公文書館 2A 33-6 単 475。

岩山敬義報告『理事功程』(1冊) 国立公文書館 2A 33-6 単 476。

高崎正風報告『視察功程』(3冊) 国立公文書館 2A 33-6 単 477. 479。

安川繁成報告『視察功程』(11冊) 国立公文書館 2A 33-6 単 480. 490。

<二次文献>

和書（単行本）

石井寛治『開国と維新』小学館 1993.

石井寛治『日本経済史[第2版]』東京大学出版会 1997.

石井寛治『日本の産業革命』朝日選書 581 朝日新聞社 1997.

泉三郎『堂々たる日本人 知られざる岩倉使節団』祥伝社 1996.

今井宏『日本人とイギリス』筑摩書房 1994.

梅溪昇『お雇い外国人』日本経済新聞社 1965.

運輸省第二港湾建設局編『横浜港修築史. 明治・大正・昭和前期』運輸省第二港湾事務局京浜港工事事務所 1983.

蝦名賢造『札幌農学校』図書出版社 1980.

大木孝『土木社会史年表』日刊工業新聞社 1988.

大久保利謙『岩倉使節の研究』東京 宗高書房 1976.

大蔵省（編纂）『明治前期財政経済史料集成』第1巻 改造社出版 1931.

大蔵省（編纂）『工部省沿革報告』『明治前期財政経済史料集成 第17巻』改造社 1932.

海上保安庁灯台部編『日本灯台史』灯光会発行 丸の内出版 1969.

金子榮一（編）『現代日本産業発達史 IX 造船』交詢社出版局 1964.

河鍋楠美他（編）『鹿鳴館の建築家 ジョサイア・コンドル展』東京 1997.

菊地大麓訳『職業教育論』文部省、1884（原著：Russell, Scott, Systematic Technical Education for the English People, London, 1869）.

北政巳『国際日本を拓いた人々—日本とスコットランドの絆』東京 同文館 1984.

旧工部大學校史料編纂会『旧工部大學校史料』1931年（1978年復刻）

日下部グリフィス学術文化交流基金編『グリフィス文書目録稿』福井市 1984.

久米邦武編修・田中彰校訂・解説『特命全権大使米欧回覧実記』（一・五）東京 岩波文庫 1985（第5刷）.

工学会（後の日本工学会）編『明治工業史 建築編』1969.

国立公文書館『重要文化財指定記念 明治前期の施策を伝える「公文録」展目録』東京 1998.

三枝博音, 他『近代日本産業技術の西欧化』東洋経済新報社 1960.

坂田精一訳『一外交官の見た明治維新（上）』東京 岩波書店 1996.

澤護『お雇いフランス人の研究』千葉市 敬愛大学経済文化研究所 1991.

沢本守幸『公共投資100年の歩み. 日本の経済発展とともに.』大成出版社 第2発行 1982.

重久篤太郎『明治文化と西洋人』思文閣出版 1987.

嶋田正・梅溪昇・渡辺正雄『ザ・ヤトイ—お雇い外国人の総合的研究.』思文閣出版 1990.

O. チェックランド『明治日本とイギリス 出会い・技術移転・ネットワークの形成』杉山忠平・玉置紀夫訳、東京 法政大学出版局 1996.

L. T. C. Rolt『ヴィクトリアン・エンジニアリング—土木と機械の時代』高島平吾訳、東京 鹿島出版会 1989.

- 高梨健吉訳『パークス伝』東京（東洋文庫 429）1984.
- 田中彰・高田誠二（編著）『「米欧回覧実記」の学際的研究』札幌 北海道大学図書刊行会 1993.
- 田中彰『岩倉使節団 米欧回覧実記』東京 岩波書店 1994.
- 田中不二麿『理事功程』15冊 1873 東京 雄松堂書店 1982（複製）.
- 手塚晃（編集）『幕末・明治海外渡航者総覧』第2巻 東京 柏書房 1992.
- 土居良三『幕末五人の外国奉行—開国を実現させた武士—』東京 中央公論社 1997.
- R. H. ブラントン『お雇い外人の見た近代日本』徳力真太郎訳、東京 講談社学術文庫 1986.
- 富田仁『メルメ・カション—幕末フランス怪僧伝—』横浜 有隣新書 1980.
- 富田仁・西堀昭著、高橋邦太郎監修『横須賀製鉄所の人々—ひらくフランス文化—』横浜 有隣堂 1983.
- 富田仁『岩倉使節団のバリ』東京 翰林書房 1997.
- 中岡哲郎、石井正、内田星美『近代日本の技術と技術政策』東京 国際連合大学 1986.
- 長岡祥三訳『英国外交官の見た幕末維新』東京 新人物往来社 1985.
- 中村孫一編『明治以後本邦土木と外人』土木学会 1942.
- 鳴岩宗三『幕末日本とフランス外交—レオン・ロッシュの選択—』東京 創元社 1997.
- 西尾豊作著『子爵 田中不二麿伝』東京 大空社 1987.
- 西堀昭『日仏文化交流史の研究—日本の近代化とフランス—』東京 駿河台出版社 1988（初版 1981）.
- 日本科学史学会編『日本科学技術史大系 第20巻・採鉱冶金技術』東京 1970.
- （社団法人）日本工学会『明治工業史提要編』学術文献普及会 1972.
- （社団法人）日本工学会『我が国工学100年の歩みと展望』東京 1979.
- （社団法人）日本工学会『工学叢誌・工学会誌総索引—日本工学会100周年記念出版—』東京 雄松堂出版 1983.
- 日本国有鉄道編『日本国有鉄道百年史』第1巻 1969.
- 畠山けんじ『鹿鳴館を創った男』東京 河出書房新社 1998.
- 原潔・永岡敦訳『ドイツ公使の見た明治維新』東京 新人物往来社 1987.
- 春畝公追頌会『伊藤博文伝』上巻（明治百年史叢書）東京 原書房 1970.
- 樋口次郎『祖父パーマー 横浜・近代水道の創設者』有隣新書 1998.
- アレキサンダー・マッケイ『トーマス・グラバー伝』平岡緑訳、東京 中央公論社 1997.
- 星野芳郎著作集『技術史』II 勁草書房 1977.
- 堀内達夫『フランス技術教育成立史の研究 A—エコール・ポリテクニクと技術者養成—』東京 多賀出版 1997.
- 堀内正名（編）『近代産業の父 大島高任の生涯』釜石市 岩手東海新聞社 1960.
- 松本純一『横浜にあったフランスの郵便局 幕末・明治の知られざる一断面』原書房 1994.
- 三上隆三『円の社会史』中公新書 中央公論社 1989.
- 宮永孝『白い崖の国をたずねて 岩倉使節団の旅 木戸孝允のみたイギリス』東京 集英社 1997.

- 三好信浩『日本工業教育成立史の研究—近代日本の工業化と教育—』風間書房 1979.
- 三好信浩『明治のエンジニア教育』中公新書 中央公論社 1983.
- 三好信浩『ダイア—の日本』東京 福村出版 1989.
- 村松貞次郎『日本建築技術史』東京 地人書館 1959.
- 村松貞次郎『お雇い外国人 15 建築・土木』東京 鹿島出版会 1976.
- 村松貞次郎『日本近代建築の歴史』日本放送出版協会 1988.
- 村松貞次郎・高橋裕『日本の技術 100 年 第 6 巻：建築・土木』筑摩書房 1989.
- 明治文化研究会編『明治文化全集 補巻（三）農工篇』東京 日本評論社 1974.
- 毛利敏彦『明治六年政変』東京 中公新書 中央公論社 1997（第 8 版）.
- 八十島義之助他『土木技術の発展と社会資本に関する研究』総合研究開発機構 1985.
- 山下英一『グリフィスと日本—明治の精神を問いつづけた米国人ジャパノロジスト—』東京 近代文藝社 1995.
- 山崎俊雄『技術史』東洋経済新報社 1965.
- 山崎俊雄（著）・木本忠昭（編）『日本技術史・産業考古学研究論』水曜社 1997.
- 山田直匡『お雇い外国人 交通』鹿島出版社 1969.
- 湯浅光朝『科学年表』三省堂 1988.
- 由井正臣（校注者）『後は昔の記他—林董回顧録—』東京 平凡社 1970（東洋文庫 173）.
- ユネスコ東アジア文化研究センター編『資料 御雇外国人』東京 小学館 1975.
- 横須賀海軍工廠編『横須賀海軍船廠史』第 1 巻 自元治元年至明治六年 1915（「明治百年史叢書」原書房 1973）.
- 横須賀海軍工廠編『横須賀海軍船廠史』第 2 巻 自明治七年至明治二十年 1915（「明治百年史叢書」原書房 1973）.

コンセンサス会議の形成とその意義

-科学技術への市民参加についての考察-

木場隆夫 (96D42018)

指導教官：中島秀人

1. コンセンサス会議の概略

コンセンサス会議はデンマークで始められた技術評価の一方法である。コンセンサス会議においては、特定の科学技術のテーマを選定し、それに利害関係のない市民の参加を募る。応募者の中から十数名を選び、この市民を「市民パネル」と呼ぶ。他方の「専門家パネル」は、市民パネルのもつ疑問に対応可能な専門家（大学教授、企業の従業員、公務員、民間団体の活動家など）が十数名選ばれる。専門家パネルは、市民パネルにその科学技術の状況についてわかりやすい説明をし、市民パネルとの間で質疑応答を行う。その後、市民パネルだけで議論を行い、市民パネルはその科学技術についてどのような判断を下すか、意見を文章としてまとめる。これはコンセンサスと呼ばれ、その意見は公開の場で発表され、新聞等の記事になる。政治家、行政府などにもこの報告書が配布され、参考にされる。このような形で世論形成と政策形成に利用される。ただし、その意見には法的な拘束力は一切ない。

1998年1月から3月にかけて、日本においても、デンマークのコンセンサス会議方式を踏襲して「遺伝子治療を考える市民の会議」が関西で開催された¹。これが日本で最初のコンセンサス会議である。それに続き第二回目として1999年5月から9月にかけて、東京近郊で「高度情報社会—とくにインターネットを考える市民の会議」が開催された²。

2. コンセンサス会議の広まりと問題

コンセンサス会議は、1987年にデンマークで最初に開かれた。1990年代に入り世界各国に急速に広まっている（表1）。各国で共通しているのは、コンセンサス会議の目的として、科学技術に関する問題に市民の意見を言う場を作ろうということである。会議の形態からいって、専門家だけではなくしろうと市民が科学技術に対する問題を議論するものである。

デンマークの方式においては、開催者が、科学技術の問題に対する社会的なコンセンサスを得ることを追求している。そのために、デンマークでは意見の偏りがないように、勧誘の手紙を出す市民をランダムサンプリングで選び、その中から応募者を募ったり、市民パネルの構成をデンマークの人口構成になるべく合ったものにするなどの工夫をしている。

表1 各国のコンセンサス会議開催一覧

国	開催年	議題
デンマーク	1987	工業、農業における遺伝子工学
	1989	食物の放射線照射
	1989	ヒト遺伝子のマッピング
	1990	大気汚染
	1991	教育工学（技術）
	1992	遺伝子操作による動物
	1993	個人使用の自動車の未来

	1993	不妊
	1994	交通における情報技術
	1994	統合化された農業
	1994	電子個人情報
	1995	化学物質の環境及び食品の閾値
	1995	遺伝子治療
	1997	消費と環境
	1997	テレ・ワーク
	1998	市民の食料政策
	1998	将来の漁業
	1999	遺伝子組換え食品
イギリス	1994	植物のバイオテクノロジー
	1999	放射性廃棄物
オランダ	1993	動物の遺伝子組み替え
	1995	バイオテクノロジー
米国 (マサチューセッツ州域)	1997	通信と民主主義
スイス	1998	エネルギーと社会
	1999	遺伝子組換え食品
ノルウェイ	1996	遺伝子組み替え食品
	1997	エネルギー
韓国	1998	遺伝子組み替え作物
	1999	クローン技術
オーストラリア	1999	食物連鎖における遺伝子組換え
カナダ	1998	大学における義務的なコンピュータ使用
	1999	遺伝子組換え食品
フランス	1998	遺伝子組換え食品
イスラエル	2000	将来の交通
ニュージーランド	1996	植物のバイオテクノロジー
	1998	植物のバイオテクノロジー 2 回目
	1999	生命工学的疫病コントロール
日本	1998	遺伝子治療
	1999	高度情報社会とくにインターネット

しかし、良く考えてみると、科学技術に関する市民の意見にどういう意味があるのか明確とはいえない。市民の会議だからといって正しい決定がなされるというわけではないのである。そのような場で出される市民の意見とはどのような性質のものであるのか、考察することが必要である。

とはいえ、何らの必然性もなしにむやみにコンセンサス会議が世界に広まったということは非常に考えにくい。そのため、第一には、歴史的にみてなぜコンセンサス会議が行われるようになってきたのか、その背景について論じたい。第二には、コンセンサス会議の中で、実際にどのような過程を経て意見がとりまとめられるのかということ进行分析する。参加する市民や専門家がどのような意識をもってコンセンサス会議に関与しているのかという考察が必要であろう。第三にはコンセンサス会議がもたらす社会的な機能(どのような役割を果たしているのか、あるいは果たしうるのか)は、何かということ考察する。最後に、それらの市民の意見の考察から敷衍して引き出される政策的な含意を論じる。

3. 専門家主義によるパターナリズムとその落とし穴

科学技術分野ではとくにそうであるが、多くの分野で意思決定にあたって専門家への依存が高まっている。そして専門家の知識に依存しながら、ものごとをパターナリスティックに決めていく構造になっている。企業においても、行政においても、一般社会においてもそのような傾向がみられる。

ここでいう「パターナリズム」とは、最近では医療の倫理学で多く用いられる用語であり、「患者の自律」と対極にある考え方として存在する概念である。それは、「父権主義的配慮もしくは決定」と訳されることがある。専門家である医師の側が、ちょうど父親のように、その専門知識と経験を動員して、患者をおもんばかって治療方針を決めてやり、患者の側もこれに従うことという意味である。

科学者や技術者の判断が常に優れたものなら、彼らの見解に従うことは、良い決定をするのに必須となるはずである。専門知識をもった者に頼るということは合理的であることが多いが、しかしそれだけで十分なのであるかという問題がある。専門家がいうことが常に正しいというわけではないところに落とし穴がある。知識を持っているということと正しいということは別なのである。それに関し、専門家の特質について論じよう。

この点については、科学社会学の知見が役立つ。例えばバーンズは、伝統的な科学者内部の行動規範の分析から、そのメカニズムを以下のように解明している。バーンズに依拠すると、科学者はかなり特徴的な行動原理をもっている³。

科学者社会では、全ての人々が優秀であるというわけではないのに、めざましい成果をあげている。その理由としてあげられるのは研究者社会の特性として、科学者は長期にわたって厳しい訓練を受け、共通の思考をする可能性が強いことである。また、論文を生産する過程では集団的に知識を形成しており、間違いを起こしづらいものになっている。科学者にとっては、同業者から認知されるという報奨が重要である。認知は一般にお金によって左右されるものではなく、科学者内部で独立して行われる。そのため科学は独立的である。認知システムは部内者と部外者を明確に分ける。専門外の人の偏見、気まぐれな意見を全てまともにとりあげることではできない。従って科学者や専門家という有資格者の情報を重視するのである。従って評価の基準は閉鎖的な部内者、あるいはもう少し広くいっても話の通じる同業者の観点から行われることになる。

そのように科学者はディシプリンと権威に従属し、一定の方向に向きやすいという特徴をもっている。そのため、科学者の判断基準は、必ずしも正しくないという可能性があることに注意をしなければならない。

4. 科学技術の問題への市民参加の広まり

歴史的にみると、先進国の1950年代は戦後の復興期であり、科学技術の発展により人々は利便性を享受した。しかし、1960年代から70年代にかけて、科学技術の負の側面が表れはじめた。科学技術に関する市民の反対の動きが先進国でみられるようになったのはこの頃である。公害や環境汚染が明確な社会問題となり、世界的に科学技術に関する政策決定について論争が起きはじめた。科学技術が社会にどのような影響をもたらすか不明確であるということが、そのような論争の根底の問題としてあった。

このような状況で明らかになったことは、上からの決定、すなわちパターナリスティックな

意思決定によっては、問題解決が困難な事態が起き始めたということである。当時のOECDのレポートによれば、科学技術に関する様々な問題が民主主義の名の下に政府によりトップダウンで決定されることに対し、地元住民や市民団体が不満を述べるという形で論争が展開した。地元住民や市民が科学技術の影響に対して不安があるという意見を述べ、決定に参加する機会を要求したのである⁴。

それに対して、科学者、技術者の側による問題の予防的解決として登場したのがテクノロジーアセスメントである。一般市民の政治的要求が強くなりすぎて、専門家集団による決定のイニシアチブが失われてしまうことが懸念された。テクノロジーアセスメントはこのような状況に対応し、科学者、技術者のイニシアチブを維持する目的をもってとられた一つの方策である。テクノロジーアセスメントは、1960年代末に米国で始められた⁵。これはいろいろな分野の科学技術の専門家が科学技術の社会的影響を察知して、悪影響を回避しようとするものである。また同時に、必要な科学技術分野の発展を意図するものであった。米国では1972年にテクノロジーアセスメント法が成立し、テクノロジーアセスメント局(Office of Technology Assessment:OTA)が設置された。OTAによって約750本のレポートが作成された⁶。日本でも、テクノロジーアセスメントの概念が紹介され、1971年には、政府主導でテクノロジーアセスメントのケーススタディが行われている。

初期のテクノロジーアセスメントには、専門家が科学技術に関する問題を解決できるという前提があった。しかしながら、科学技術に関する問題について、科学技術の専門家が中立で、公正な政策を提言できるかということに対しては懐疑的な意見が登場した。自身がテクノロジーアセスメントの推進者であったブルックスは、後年以下のように述べる。「データの評価に不偏的であろうと努力している専門家の間でさえ、不確実性が存在するときには自分の政策の選好がデータと証拠の解釈に大きな影響を与える」「しろうとの公衆の何らかの形の参加が、必要とされる。そのような参加は専門家に対して社会的価値を表し、政治過程が行うべき必要な選択を明らかにすることを助けるのである」として科学技術は専門家だけによって進められるのではなく、市民の意思決定への参加が重要としたのである⁷。

市民や住民の参加といってもいろいろな意味がありうる。フィオリノは、環境問題についてのリスクの評価にしろうとが参加することの正当性についていくつかの区分をしている⁸。第一に、実態的な議論で、しろうとの方が専門家よりも重要な問題を見つけやすいというものである。いいかえると、専門家はリスクの評価について合理的であるが、新たな問題発見については社会的にバイアスがかかっており、非専門家の方が適切であるということにもなる⁹。第二は規範的な議論で、民主主義的な政体のもとでは市民こそが価値判断をしようというものである。第三は道具的な議論であり、効果的なしろうとの参加は決定の正統性を高めるというものである。これらの観点はいずれもバクナーリスティックな政策決定によって起きる問題を、市民参加によって鎮静化させるという理由になりうる。

そうした専門的な事項を市民が議論する際は、市民としても、ある程度専門事項について知識を得ておく必要がある。市民参加という形式をとると、市民の意識の向上が起き、民主制を支える社会的な教育の意味が出てくるという点にも留意が払われるべきである。例えば、ネルキンは、都市計画や大規模工場施設など技術と政治が絡む問題について民主的な決定をするには、いかに正しい情報を得た市民を作るかが重要なポイントであると指摘する¹⁰。民主主義は本来、正しい情報を得た市民を要求するものであるとも言われる¹¹。そうした説の背景として

政治決定過程における情報偏在を問題視し、情報偏在が誤った結果をもたらすと注意を喚起する者もいる¹²。

5. コンセンサス会議の成立

科学技術についての問題に対する市民の意思表示という動きと、テクノロジーアセスメントという制度が重なりはじめ、テクノロジーアセスメントの実践の中に市民の意見を反映させるべきだという機運は1980年代に高まった。このような流れの中で、コンセンサス会議が始められることとなった。

(1) 米国の医療評価制度

デンマークのコンセンサス会議の直接の原型となったのは、米国の医療技術評価制度であった¹³。米国では、医療における新技術導入について専門家による医療技術評価制度が存在し、これは「コンセンサス開発会議方式」と呼ばれている。その背景には1970年代に医療費の急増が問題となり、高額な先端治療をどのように進めるべきか議論となったことがある。これに関し、1977年、国立衛生研究院では、テクノロジーアセスメントを行うこととした。そのための組織として、研究医療応用局(Office of Medical Applications of Research)が設置された。同局では、医療技術の安全性と効率性を評価することが重要な課題とされ、その手法として、「コンセンサス開発会議」が行われた。コンセンサス開発会議は、専門家と一般市民との対話を含めることにも留意を払った。しかしながら、このコンセンサス開発会議では、コンセンサスを形成する主体は医療技術の専門家であった。この方式の会議は、1980年代前半に欧州各国に広まっていった。

(2) デンマークにおけるコンセンサス会議の発展

デンマークにおけるコンセンサス会議は、米国のコンセンサス開発会議の試みを発展させたものであった。それに先だってデンマークでは、1970年代にテクノロジーアセスメントの概念を導入し、試験的に行うようになった。デンマークにおいては、酸性雨などで環境問題についての関心が高まっていた。また、遺伝子操作技術の登場などもあり、デンマークでは科学技術に対する関心は高まっていった¹⁴。

1984年にデンマークのテクノロジーアセスメント活動を総括した「グリーンレポート」が刊行された。そこでは、できるだけ多くの関係者の交渉の場としてテクノロジーアセスメントを行うように変革させることが提言された¹⁵。1985年には、「社会と市民のために技術開発の結果と可能性の包括的な評価を行い、フォローすること及び技術に関する公的な議論を支持し、活発にすること」を目的とした委員会の設立が法律によって定められた。科学技術の専門家及び行政、そして市民の参加による公的な議論が必要であるとしたのである。

ここで注目したいのは、市民参加の概念と技術評価に加えて、公的な議論という概念が追加されたことである。翌年、コンセンサス会議の事務局となるデンマーク技術委員会が設立された。そして、1987年に遺伝子工学をテーマとしたコンセンサス会議が開催された。米国の医療評価会議方式を借りて、デンマークでは、技術进行评估し、コンセンサスを得る主体を、専門家ではなく一般市民に変えたのである¹⁶。背景としては、これまで述べてきたように、科学技術に関する問題の処理が市民参加なしには難しいと考えられたことにある。また、デンマークがコンセンサス会議を開くにふさわしい政治社会風土を持っていたことは重要である。デンマークには政治に直接国民が関わっていかうという姿勢があり、それがコンセンサス会議を開催可

能とした条件だとデンマーク技術委員会事務局長のクリューバー氏は述べている¹⁷。デンマークでは草の根的な政治活動が行われている。例えばデンマーク技術委員会はコンセンサス会議だけを行っているのではなく、年間100回もの地域的な科学技術に関する会議に補助金を出すという業務も行っているのである。この地域的な会議には一回に25人から100人程度の住民が参加するという。科学技術分野に限らず、全国で様々な問題が地域の会議として議論されているのである。

つまり、科学技術をめぐる世界的な流れに、以上述べたデンマークの政治社会的特色が重なって、デンマークで市民をテクノロジーアセスメントの主体とするという決断が生まれたのであった。1985年当時、デンマーク技術委員会の設立は実験的であった。その後、その活動は良く評価され、1995年の法改正では役割が強化されることとなった¹⁸。

6. 日本におけるコンセンサス会議

(1) 経過と結果

1998年、大阪で行われたコンセンサス会議は、事務局の予想を上回る市民パネルの極めて旺盛な参加意欲がみられた。市民パネルは、遺伝子治療や生命倫理の専門家の言うことに良く耳を傾け、熱心に発言した。専門家の言い分とその研究・治療にかかる情熱を理解しようと努めた。

会議の成果として、市民パネルの意見がまとまった。ここで注目したいのは、市民パネルは社会全体の公益を考える立場をとったことと、遺伝子治療を受ける患者の立場に立って議論をしたことである。例えば、遺伝子治療の研究については情報公開を進め、安全性を確認する第三者機関が必要であると述べている。現在のガイドラインでは遺伝子治療を体細胞に限定しているが、生殖細胞を操作できるような技術が登場すると、それがなしくずしになってしまうのではないかという懸念が示され、現行のガイドラインを理論的に強固にする必要があるという指摘もあった。このように遺伝子治療という問題を社会全体の問題としてみるというのは、市民パネルの幅広いイマジネーション、注意力、問題発見能力、社会全般を見渡す力が発揮されたものといえる。

また、市民パネルは、遺伝子治療を受ける立場になったときのことを考えて、インフォームドコンセントについて意見を述べている。現行のインフォームドコンセントの書式は専門語が多く分かりづらいという批判や、他に治療法がない重篤な患者に限って遺伝子治療を行うという現状では患者に精神的な圧迫感を与えるので、尊厳死やホスピスなどの選択肢を提示すべきだという意見があった。これは、治療を受ける側の人間となったときのことを想像して議論が形成されたのである。

(2) 市民と専門家の相互理解と段階的な意見形成

(2-1) 市民の理解の増進

市民パネルの理解の増進という点については、デンマーク、オランダ、イギリス、日本とも、市民パネルは熱心に学習し、理解レベルは急速に高まったことが報告されている。事実情報については、専門家の言うことを市民パネルは良く聞く。こうした初歩的な事実説明については、専門家の発言は市民パネルに強い影響力がある。

例えば日本の場合、「遺伝子治療が将来多くの病気を治せる可能性があると思いますか」という市民パネルに対するアンケートの問いに肯定的な答えは、会議の初めと終わりを比べると

大きく減っている。市民パネルの意見の変化が起きた理由は、遺伝子治療に関する専門家の説明が、現状ではこれが試験的なものとどまっていたり顕著な治療例は少ないこと、技術的な問題点が多いことなどを繰り返したことにより、市民パネルは遺伝子治療の現実性について懐疑的になったとみられる。事実認識のレベルでは、専門家の説明に従う形で市民の誤解や先入観が解かれるというのは各国共通の事態と考えられる。

(2-2) 市民の新たな見解の形成

ところで、市民は専門家を一般的に正しいと信じるに至るのであろうか。専門家が職業的な責任感をもって話をするとき、市民がある程度それを信頼するということは十分ありうる。オランダの1995年の会議の場合には、ヒトゲノム研究というテーマで極めて多くのことが話し合われた。遺伝子治療も一つの項目になっている。オランダでは、市民パネルは科学者や専門家の自己規制へ大きな信頼を示したとされている。日本においても事実関係の確認の過程で専門家への信頼が生まれていたように見受けられた。

オランダ（テーマはヒト遺伝子研究）でも会議において市民パネルの意見の変化がかなりみられた。オランダでは、専門家からの説明によって知識が増大したことにより、ヒト遺伝子研究についての不安が除去されたとされる。そして、専門家の自己規制に対する信頼が生まれたとしている。例えば、胎児の出生前遺伝子診断については、市民パネルの支持は大きく減った。また、科学技術の倫理的アセスメントの重要性が指摘されるに至った。さらに、遺伝性疾患が心配される妊娠の中絶に対しては、市民パネルは寛容になった。デンマークにおいては、多くのコンセンサス会議において市民パネルは、専門家を信頼するとともに、専門家の間において意見の対立がある場合には、ある専門家を批判するようになるという。

市民パネルは専門家の話をうのみにばかりしているわけではないことは、各国の経験が示すとおりである。市民パネルは専門家を単に信憑性の高い証人として取り扱っているのではなく、その信憑性を疑ってかかるのである。何が正しいことかを自分で判断をつけるようになる。日本の場合から言えることは、科学論の教科書が教えるとおおり、専門家は狭い領域についての専門家であって、各人が話をできる領域は限られている。その領域内の話は専門家を信用することができるのであるが、それでは、遺伝子治療全体を、あるいは遺伝子治療を行う社会をどうしたらいいのか、というような広い問題を考えるには、各専門家の話を聞いただけではつなぎあわない部分が必ず生じるのである。

市民パネルは専門家の話を信じるだけでなく、社会的な問題がどのように起こるかを想像をめぐらせることになる。そして新たな問題点や論点を考え出すことになる。それは、個別具体的な問題についての一般的な常識をもとにした意見である。それがコンセンサス会議を経て生まれる一般市民の意見である。

コンセンサス会議によって示される一般市民の意見は、専門家の意見だけを丸呑みにしているのではなく、また一般市民の庶民的感觉だけを示しているのでもない。新たな性質の意見を付け加えていると考えるのが妥当であろう。

このようにみえてくると、コンセンサス会議の市民パネルの意見の形成は段階を追っていると考えられる。形成過程を段階に分割すると、以下のように書くことができる。

①一般市民から、知的好奇心旺盛な人達が応募し、市民パネルが形成される。この市民パネルは平均的な市民とはかなり科学技術に関する関心が異なった人達である。

②個別具体的な問題について学習し、理解を増進する。市民パネルは知識を備え、平均的な

市民とはかなり異なった存在である。

③専門家への信頼あるいは批判が生じる。これにより、市民パネルは平均的な市民とは異なった存在に変化する。

④専門家の説明だけでは完全ではないので、新たな問題の発見とイマジネーションをめぐる。

一般市民の次元の感覚に主に基づいているのであるが、専門家の次元をまったく無にするものではなく、最終的にはそれらが融合した新たな思考の産物が「意見」として生まれるのである。このようにコンセンサス会議においては、「意見」が段階的に形成されるとみて、それを「段階的意見形成モデル」として理解することを提唱したい。1999年に「高度情報社会とくにインターネット」をめぐるコンセンサス会議でもこのモデルによって良く説明されることがみられた。コンセンサス会議の市民パネルは、一般人に比べて科学技術に対する関心がきわめて高い集団であり、会議中は、専門家の説明によってかなりの程度影響を受けた。実際、第二回目のコンセンサス会議において、専門家の説明によって高度情報社会についてのイメージに影響を受けたという市民パネルが多かった。

会議中は市民パネルは極めて熱心に専門家の言うことを聞いて理解しようとしていたし、専門家の説明を聞くばかりでなく、自主的に学習を進めていた面もある。遺伝子治療にせよ、インターネットにせよ、専門家の説明からかなり市民パネルは実情を知り、意見を変えたことが明らかである。インターネットでも自己情報コントロール権の確立やネットディ、情報教育、障害者への配慮など、専門家の意見を市民パネルの意見として採用した例がめだつた。したがって、専門家の意見を市民パネルがその意見として採用するということが起きる。

それだけではなく、専門家はその立場からは言えないようなことを市民パネルは気がつくことがある。それは高度情報化社会とインターネットでは、自己情報コントロール権は市民の義務であると繰り返し市民の立場を強調したことにみられる。これは権利として通常法律家は考えるのに対し、市民は皆が守れば問題がより少なくなると考えたのである。

第2回のコンセンサス会議では、1999年7月31日の市民パネルだけの話し合いの、「悪影響から市民を守る（犯罪被害）」のところで、インターネットをめぐる犯罪は従来型のものが多いが、送信先の不特定多数性、発信時における心理的バリアの低さなどが原因となって犯罪の性質が変わっているというのも事実であると市民パネルは結論づけた。市民パネルの話し合いによって市民として犯罪から身を守る心構えをもつべきという結論になった。このような市民パネルの変化は、単に専門家からの説明を聞いているだけで起こることではなく、自ら話し合うことによって新たな問題点を考え、意見を変えようということが示している。

7. 問題の可視化

遺伝子治療の会議では、例えば、医学の専門家は遺伝子治療は完全とはいきれないが安全であろう、という言い方をしがちだった。それでは本当に安全なのかかわからないという疑問が市民パネルから出され、遺伝子治療の安全性について確認する第三者機関が必要であるという意見が生まれた。また、他に治療法がない重篤な患者に限って遺伝子治療を行う、という現状でのインフォームドコンセントには市民パネルから批判があった。尊厳死やホスピスという選択肢を提示すべきであるという意見が生じたのである。従来は、専門家の手に委ねられても当然と考えられたことが、市民パネルが参加することによって、専門家だけで安全性を確認する

のはおかしいとか、医師に従属的にならざるをえない重篤患者の立場に立った場合のインフォームドコンセントのあり方というような問題点が指摘された。言い換えれば、「問題点が可視化」されたのである。このようなことが起こるのは、遺伝子治療のような先端分野では、多くの状況が専門家に白紙委任されているためである。専門家だけの処理では見えなかったことで、市民パネルの立場で良く考えてみると実は問題ではないか、他の解決方法もあるのではないかという考えが出てくるのである。専門家の知識と権威にとって都合の良い考え方や処理が、公的な場において問題があるではないかと疑われるのである。

つまり、市民パネルは専門家の話を信じるだけでなく、社会的な問題がどのように起こるかをリアルに考える。コンセンサス会議によって示される市民パネルのコンセンサスは、一般市民の庶民的感覚だけを表現しているのではなく、自分の立場を具体的に設定することによって新たな性質の意見を付け加えていると考えるのが妥当であろう。それは、通常私達がコンセンサスと感ずるものとは違っている可能性がある。

コンセンサス会議では、市民パネルは、個別具体的な問題について学習し、理解を増進する過程で、市民パネルは知識を備え、平均的な市民とはかなり異なった存在となる。専門家の説明だけでは完全ではないので、新たな問題の発見をする。この過程を通じ、市民パネルは平均的な市民とは異なった存在になる。市民パネルの意見は、最終的には新たな問題発見にまでたどりつく。一般市民の次元の感覚に主に基づいているのであるが、専門家の意見を無にするのではなく、最終的にはそれらが融合した新たな思考の産物が会議の「コンセンサス（意見）」になる。そのような議論は私的な立場ではなく、より公的な角度からなされる。コンセンサス会議では、実際にはコンセンサスは、極めて短い時間で議論したうえでの結果なので、一時的に形成されたコンセンサスであったといえる。

そのような市民パネルのコンセンサスを、社会的コンセンサスということには無理があろう。多くの国でのコンセンサス会議が実験段階にとどまっているのは、コンセンサス会議を社会的コンセンサスを作るためのものと理解することに無理があるからであろうと思われる。科学技術に関する問題については、多かれ少なかれパターナリスティックな決定方式が各国でとられている。ここに述べたように、諸外国においても、コンセンサス会議の取り組みを民主的な問題の可視化ととらえるということが合理的である。

8. 問題の可視化の意義

コンセンサス会議のコンセンサスは問題の可視化だとして、社会にどのような意味をもつのだろうか。日本の政策形成における一つの問題は、専門家や政府関係者といった当事者にはその選択肢がわかっているが、市民にはそれがわからなままでおかれてきたことにある。市民からみてどのような政策選択肢がありうるかわからなかったり、市民に政策生成の過程がみえない状況では、このような市民の会議だけ行っても政策形成には容易に結びつかない。

しかしながら、政策形成に結びつくのは容易でないからといって、あるいはまた、コンセンサス会議の作るコンセンサスが一時的な特殊なものだからといって、コンセンサス会議に意義はないとはいえない。パターナリスティックな決定方式では、決定過程が閉ざされているので問題状況が外部の者に良くみえないという欠点がある。遺伝子組換えや環境問題など、近年の科学技術に関する問題のように、関係者が不特定多数になるような場合には、よりオープンな形で決定が行われることが望ましい場合もある。それとともに、多くの者に参加の機会を与え

ながらも、質をある程度高めていくことも重要である。前述のように、コンセンサス会議においては市民パネルと専門家パネルが相互の理解のうえにたつて、新たな問題を模索した。そうした一般市民が参加し、問題を熟慮できる場が実現された。先に指摘したように、日本の遺伝子治療のコンセンサス会議では、専門家の専断状況から、市民パネルが問題を可視化したという場面が実際にみられた。

科学技術に関する政策決定過程を一般的に分解すれば、まず科学技術に関する何らかの問題が存在し、その問題が可視化され、問題が社会的に議論され、問題が研究され、解決策が提案され、その中で社会的合意がなされ、問題が解決するというように分けることができる。

ある種の科学技術については、従来、専門家しか知識がなかった。したがって、専門家しか発言できず、それが社会的決定に不満を残す形となった。コンセンサス会議の場は市民が専門家の意見と知識を理解したうえで、新たな視点を提示するという機能をもつ。つまり、以上の政策決定過程の中で、問題を可視化するという役割を担うことになる。コンセンサス会議のコンセンサスは、一部の市民パネルによる一時的コンセンサスにすぎない。しかしそれは、可視化という作業を通じて、より広い視点からの社会的コンセンサスを得るためのきっかけを作るものであることが期待される。

科学技術に関する問題は今や多く一般市民に影響している。そして、どのような解決方法を採ればよいのかは、一部エリートによるパターナリスティックな解決方法では一般国民から支持されない。そこで、それを改善し、民主的な手続きを採ることによって問題を可視化することは、市民の参加の重要な意味である。つまり、問題を多くの人目につくようにすることが重要である。それが、コンセンサス会議の意義として指摘できる。問題の可視化なしには、科学技術という専門的な事項について民主的なコントロールはありえないのである。

9. 科学技術に関する市民の意見の構造

科学技術に関する市民の意見というものがどのような性質をもったものであるのか、以上の考察によって、全部とはいえないにしてもかなり分かってきたと思われる。市民の意見とは無限定に考えれば、あらゆる市民の発する意見を指すことになる。しかし、我々が主として配慮すべきなのは、民主主義の原則にのっとった意見ないしは、民主主義を補強する市民の意見ではないであろうか。

コンセンサス会議を通じて理解できたことは、市民には一部であるにせよ市民パネルとなつて科学技術に関わる問題について、熱心に学習し、発言する人達がいることである。専門家による情報公開やアカウンタビリティの必要性の議論は、それらの人々との向かい合いということ抜きにして語れないであろう。のっぺりとした顔のない国民に対することではなくて、現実に関心のある市民に専門家が語りかけることが一つの大きな段階である。そこでは、専門家が平易な言葉で、市民の関心に沿って語りかけなければいけない。

市民パネルの側では日常的には考えていなかった科学技術に関することがらについてできるだけ学習をし、理解を深めようとする。専門家の言うことを受け止め、受け入れる段階がある。しかし、専門家の説明だけで全てがうまくつながるわけではない。そこに、想像力を働かせ、新たな問題を見つけるのである。問題ではなくても、専門家では容易に口に出来ないことがらを提起してみせるのである。それらは、市民の培う日常感覚の上に出てくるものである。

そのような問題の可視化に市民の意見の意義があるのではないだろうか。もちろん、世論や

合意というものが市民の意見から生まれてくる可能性はある。しかし、それ以前の段階として専門家と市民の視点が違っていて、そこに問題が潜んでいるということを明らかにすることが、市民の役割の一つであるだろう。しろうとは無知であるがゆえに、知っている人が知らないことを知っているのである。そこに市民が参加して議論をするという意味がある。

参考文献

- (1)この会議の状況については、科学技術への市民参加研究会、『「遺伝子治療を考える市民の会議」報告書』,(1998)が詳しい。
- (2)この会議の状況については、科学技術への市民参加研究会、『「高度情報社会—とくにインターネットを考える市民の会議」報告書』,(2000)が詳しい。
- (3)Barnes Barry, *About Science*, Oxford, (1985), 邦訳『社会現象としての科学』川出由己訳, 吉岡書店, (1989)。
- (4)OECD, *Technology on Trial* (1979)。
- (5)Dickson David, *The New Politics of Science*(1984), 邦訳『戦後アメリカと科学政策』, 里深文彦監訳, 同文館, pp.304-313(1987)。
- (6)Office of Technology Assessment, *The OTA Legacy*(1996)。
- (7)Brooks Harvey, *The Resolution of Technically Intensive Public Policy Disputes, Science, Technology and Human Values*, 9 (1), pp.39-50(1984)。
- (8)Fiorino Daniel J., *Citizen Participation and Environmental Risk: A Survey of Institutional Mechanisms, Science, Technology and Human Values*, 15(2), pp.226-243(1990)。
- (9)Beckmann Gotthard, *Democratic Function of Technology Assessment in Technology Policy Decision-Making, Science and Public Policy*, 20 (1), (1993)。
- (10)Nelkin Dorothy, *Technological Decisions and Democracy*, Sage Publication, (1977)。
- (11)Ellul Jacques, *Technology and Democracy*, Edited by Langdon Winner, *Democracy in a Technological Society*, Kluwer Academic Publishers, London, p. 44(1992)。
- (12)Fuglsang Lars, *Information and Credibility Problems of STS and Technology Assessment, Bulletin of Science and Technology and Society*, 15 (5-6), pp.293-301(1995)。
- (13)Jorgensen Torben, *Consensus Conferences in the Health Care Sector, Public Participation in Science*, Science Museum, London, pp.17-29(1995)。
- (14)1998年10月, デンマーク技術委員会Kluver Lars事務局長から聴取した。
- (15)Cronberg Tarja, *Technology Assessment in the Danish Socio-political Context, Technology Management*, 11 (5/6), p.615(1996)。
- (16)若松征男, 「素人は科学技術を評価できるか?」『現代思想』24(6), pp.97-109(1996)。
- (17)1998年10月, デンマーク技術委員会Kluver Lars事務局長から聴取した。
- (18)Kluver Lars, *Consensus conferences at the Danish Board of Technology*, edited by Simon Joss and John Durant, *Public Participation in Science*, Science Museum, p.41(1995)。

A Consideration of Social Meaning of Consensus Conferences

by

Takao KIBA

In recent years, recombinant DNA, the greenhouse effect, and other problems related to science, technology and society have become more complex. These problems cannot be easily solved by scientists, engineers, and government alone. Greater participation in decision making is being sought from the general public. To facilitate greater citizen input, a new decision making system called consensus conferences is attracting public attention. In this article, I first present an outline of consensus conferences. I then argue that the mechanism of consensus conferences is one of the developed types of technology assessment that has emerged as a means of overcoming the paternalistic policy decision making process; the purpose is to obtain the ideal consensus. Second, such expectations derive from the inadequacies of close theoretical examination of consensus conferences. In fact, consensus conferences should be interpreted more as a democratic visualization of the problem than as a tool for building consensus. Evidence supporting this argument is obtained from examining actual consensus conferences in Japan.

修士論文梗概

Max Planck の電磁的エントロピーの導入に関する科学史的研究¹

経営工学専攻 97M42148 小長谷大介 指導教官 山崎正勝

今から 100 年程前の 1900 年に、Max Planck(1858-1947)によって量子概念が導入された。それは相対性理論とともに現代物理学の新たな始まりを告げるものであった。Planck に関する科学史の先行研究は膨大に存在するが、それらの多くは量子概念の誕生の舞台となった彼の熱輻射研究に着目したものである。本論は、Planck の熱輻射研究の中でも、その方法に注目するものである。

Planck は熱輻射の研究にあたり、輻射場および共鳴子のそれぞれにエントロピーを想定した。1899 年 5 月に報告された論文「不可逆的な輻射現象について」で²、彼は一個の共鳴子のエントロピー S に対して一つの表現を与えた。この S の式は、当時の実験結果に最も適合するとみられていた Wien の輻射式を導く上で重要な役割を果たした。1900 年になると、 S の式は形を多少変えるが、Planck が彼の輻射式を得る上で引き続き重要なものであった。また、エネルギー量子は S に含まれる定数を特定化する過程で生まれたのである。Planck の熱輻射理論や量子概念の誕生にとって S の式は鍵となるものだった。ただし、彼は 1899 年 5 月論文当初 S の式を導入するに際して一切説明を与えなかった。したがって、Planck が S の式、中でも 1899 年の形の S の定式をどのように創出したのかという問題はこれまで科学史の先行研究の中で多く論じられてきた。

本論は、Planck の研究方法を論じるために、このような彼のエントロピー S の定式化に注目した。議論の準備として、まず第二章で 1899 年以前に Planck が行った研究史を概観し、第三章では 1899 年 5 月論文を概説しながら Planck が S の式をどのように扱ったかを示した。第四章では、Planck のエントロピー導入に関する先行研究に批判的な考察を加えた。第五章では、1899 年 5 月論文における S の式の起原を再考するとともに、これまで具体的に指摘されることのない Planck の研究方法について分析した。第六章では、五章で触れた方法と Planck の他の論文における方法との関連性を述べた。第七章では、当時の熱輻射研究における Planck の方法の意味について考察を行った。この結果、エントロピー S の式が Wien 輻射式の逆算から得られたという見解が Planck の当時の文脈と最も矛盾がないこと、また、その見解を手がかりにすると、1899 年 5 月論文の方法が帰納的に求めた S の式から演繹的に Wien 式を導くという形をもつこと、加えて、この方法が 1901 年に至るまでの Planck の熱輻射関連論文でも見られることを明らかにした。最終的に、帰納性と演繹性の両者を取り込む Planck の方法は、当時の熱輻射研究に関わった他の理論科学 Rayleigh らのようにエネルギー等分配則などの古典論に偏るのではなく、かつ関連の実験科学者 Lummer らのように実験結果ばかりに囚われることもなかった彼の研究姿勢を表すものであり、結果として、当時の理論からくる古典性と実験結果が含んでいた非古典性の両方を取り込むものであったことを示した。

¹ 本論の縮約版は、「Max Planck の熱輻射研究の方法的意味」という題目で『技術文化論叢』(No.3, 2000)の 33-50 頁に掲載された。

² M. Planck, Über irreversible Strahlungsvorgänge. 5. Mitteilung, *Sitzungsberichte der Königlich-Preussischen Akademie der Wissenschaften (Berlin)*, SS.440-480, 1899.

蒸気機関用ボイラの発達と材料技術の関係について

小林 学 指導教官：木本忠昭

1. 研究背景と研究目的

今日、数多くの工業用新材料が開発され、その進歩は著しい。特に耐熱用合金の発達はジェットエンジンの開発になくてはならないものであった。Fig1 に最近の耐熱合金の進歩を示す¹。こういった熱機関における耐熱合金の開発は、主に高温・高圧状態における耐食性と機械的性質の改善に向けられていた。

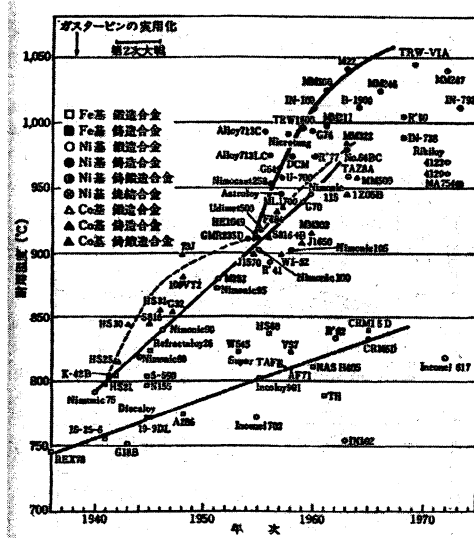


Fig 1 耐用温度の変化からみた耐熱合金の進歩(耐用温度は応力 $15\text{kgf}/\text{cm}^2$ のもとでの100時間でクリープ破断を生じる温度で示した)²

以上のように、材料技術は、その材料に依拠する個々の技術と密接に絡み合っている。したがって個々の技術発展を全体的に把握するには、材料技術の発展をも併せて考える必要もある。両者の関係について、材料技術の進展が、新しい技術を生み出しうるとの見解さえある³。

本研究では技術に及ぼした材料の影響を検証する事を目的とした。しかし近現代では、技術の発展過程が複雑化しており、材料の要因だけを抽出するのは簡単ではない。したがってとりあえず発展過程が比較的明解である蒸気機関を例に検証する事にした。その中でも材料の影響が特に顕著であると考えられる蒸気機関のボイラに特に着目した。それは19世紀、ボイラに求められる材料の水準は他のどんな用途よりも厳しいものになっていて、材料に対する要求が最もシビアなもの1つである今日のジェットエンジン・ガスタービンと同様の性格を持つものと考えられるからである。果たして高温・高圧に耐える材料の開発が高圧蒸気機関の開発に及ぼした影響とはいかなるものであったのであろうか。しかしながら、ボイラが発達において材料の変遷に特に着目した研究は少ない。本研究ではこれまで言われてきたボイラ形式の変化⁴の他に、新たに材料とい

1 田中良平編著『極限に挑む金属材料：21世紀の技術を拓く』工業調査会、1979.6、p.6-7

2 武田、湯川『金属機械学会会報』、6、1967年、p.783

3 材料の発展によって新しい技術が生み出されるという立場は、金属材料学の立場から田中良平らによって、さらに技術史・技術論の立場からは黒岩俊郎によって主張されている。

田中良平編著『極限に挑む金属材料』工業調査会、1979.

黒岩俊郎『日本技術論』東洋経済新報社、1976年、p.341.

4 最も有名な研究として石谷清幹によるボイラ発達の研究がある。石谷が『科学史研究』誌上に発表した一連の論文は「次の時代のボイラはどんなボイラか」という極めて実践的な要求にもとづいて始めたボイラ発達史の研究から、動力の、さらには「生産技術は動力と制御という対立する二要因によって発達する」という技術発達の一般的な内的法則の抽出に到達したと

う視点を導入した。さらにボイラ用材料を製造可能にした製鉄技術およびその加工技術の発達とボイラ発達の関係について考察する。取り扱う時代は17世紀末から1860年代までを主に扱う。このように扱う範囲を絞ったが、限られた範囲でも蒸気ボイラに及ぼした材料の影響を十分に説明しようものである。

2. 低圧機関用ボイラの発達と材料技術の発達

2.1. ヘイスタックボイラと使用材料の変遷

セイヴァリー(Thomas Savery, 1650?-1715)は実用になる蒸気機関を初めて開発した⁵。彼は蒸気機関を鉱山での排水用に考案したが、この機関の揚程は鉱山で使用するには小さすぎるため、彼は揚程を上げるために、高圧蒸気の使用に挑戦した。1710年頃、セイヴァリーは西ロンドンのヨークビルディングに水道用揚水機関を建設した。蒸気ボイラおよび導管は銅で、圧力容器と活栓は真鍮でつくられ、継ぎ目はすべてハンダで接合されていた。彼は蒸気圧を大気圧の8ないし10倍にまで上げた。そのためハンダは溶けてしまい、圧力で機関の継ぎ目のいくつかがはずれて吹き飛んでしまった⁶。高圧蒸気を用いたセイヴァリーの失敗の原因は、工作技術が不十分であった事、高圧に耐える満足耐える材料がなかった事である。

セイヴァリーの失敗に対しニューコメン(Thomas Newcomen, 1663-1729)は、大気圧で、すなわちシリンダー内で蒸気を凝縮させ、その負圧で動作する機関を開発した。当時の使用可能な材料および加工技術の水準を考えれば、ニューコメンの成功にとって高圧蒸気を用いないで済むというのは、欠く事ができない条件であった。1720年ヨークビルディングの水道場に建設された機関のボイラは銅製であった。1725年頃から錬鉄をチルトハンマーで鍛造した板が商品として入手可能になると銅板に取って代わった⁷。ボイラ用鉄板はシュロップシャーのコールブルックデールから供給された⁸。しかしボイラは相変わらず高い蒸気圧を発生する事はなかった。

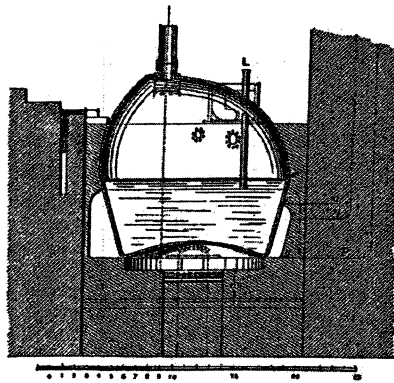


Fig 2 ニューコメンのヘイスタックボイラ

2.2. ワットのワゴンボイラとパドル鉄の使用

ジェームス・ワットは分離凝縮器を始め多くの改良を行ったが、ニューコメン機関とは本質的に同じで、ほぼ1atmで動作するという事である。高圧蒸気を必要としないため、ボイラの破裂自己は絶無であった。そのためワットはボイラについてはほとんど改良しなかった。ワットがボイラについて行った唯一の改良は、加熱面積の拡張である。水量当たりの加熱面積を増加させるために、断面積を変えずにボイラの長さを長くし、平板あるいは

のレポートである。

石谷清幹「動力史の時代区分と動力時代変遷の法則」『科学史研究』第28号(1954年)pp.12-17.

石谷清幹「蒸気動力史論 第一報:陸用蒸気原動機単位出力発達史論」『科学史研究』第32号(1955年)pp.19-27.

石谷清幹「技術発達の根本要因と技術史の時代区分」『科学史研究』第35号(1955年)pp.28-32.

石谷清幹「蒸気動力史論 第二報:船用蒸気原動機単位出力発達史論」『科学史研究』第40号(1956年)pp.14-21.

石谷清幹「技術における内的発達法則について」『科学史研究』第52号(1959年)pp.16-23.

⁵ Thomas Savery, "An Account of Mr. Tho. Savery's Engine for raising Water by the help of Fire," *Philosophical Transactions* Vol.21. (July 1699), p.228.

⁶ H・W・ディキンソン(磯田浩訳)『蒸気動力の歴史』平凡社, 1994年, p.39

⁷ H・W・ディキンソン『蒸気動力の歴史』平凡社, 1994年, p.143.

⁸ D・S・L・Cardwell, *the fontana history of Technology* (London:Fontana Press, 1989), p.162

は丸みをつけた端面を取り付けた。これがワット時代の標準型のボイラでワゴンボイラと呼ばれている。使用された材料は棒鉄を鍛造した鉄板が使用されていた。1783年ヘンリー・コート(Henry Cort, 1740-1800)が開発したノドル・圧延法によって圧延鉄板(厚さ 5/16~3/8in)が 1795 年以降、一般に入手できるようになる⁹。これらはそれまで経験が十分にあったリベットによって接合された。この変化でもボイラは相変わらず高い蒸気圧を発生する事はなかった。

2.3. 低圧蒸気機関における材料技術の影響

初期の蒸気機関が大気圧機関を採用せざるえなかったのは、工作技術が不十分であった事と、高压に耐える十分な材料がなかった事である。「大気圧方式」を採用した蒸気機関にとって、ボイラは大きな比重を占めるものではなかった。最初のボイラ材料は銅であり、醸造用・家庭用で銅釜が使用されていた事を考慮すると、銅をボイラに使用する事はごく当然の事であると考えられる。

低圧機関におけるボイラ材料は銅から鍛鉄、さらにノドル鉄へ移行していく。この変化は技術的な要因で起こったわけではない。その理由は第 1 に、ボイラ用としては熱伝導性の良い銅の方が有利である事。第 2 に、イギリスの棒鉄はスウェーデンやロシア製の棒鉄と比べて品質が悪かった事。第 3 に高压蒸気を用いる試みはワットの特許によって封じ込まれたため、ボイラには大した耐久性は求められていなかった事である。したがってこの材料の変遷はボイラの性能(蒸気圧力・耐久性)を高めるために起こったものではなく、入手の容易さ、価格の安さによって起こったのである。

3. 高压機関用ボイラの発達と材料技術の発達

1800 年、ワットの特許失効以降高压蒸気機関の開発が始まる。これまでのワゴンボイラでは内部に平板部があったため、たとえどんな材料を用いようとも高压蒸気を安全に使用できなかった。したがって高压蒸気機関の開発は、高压蒸気に安全に耐えうるボイラ形状を考案する事から始まったのである。構造上の強度を上げ、またボイラ効率を上げるために採用されたのが円筒形ボイラであった。

しかし、度重なるボイラ事故など、高压蒸気ボイラの開発は困難を極めた。その原因は信頼性の高い材料がなかった事と加工技術の未熟によるものであった。

3.1. 円筒形 1 炉塔ボイラと鑄鉄の使用

3.1.1. イギリスにおける高压蒸気機関の開発

リチャード・トレヴィシック(Richard Trevithick, 1771-1833)はイングランドで高压機関の開発に取り組んだ。彼は高压に安全に耐えうるボイラの材料として外殻に鑄鉄を使用して高压蒸気機関に製作した。彼が初めて鑄鉄を使用したのは 1802 年である。1806 年には円筒形ボイラを設計した。これは鑄鉄の外殻をもち、その前面に鍊鉄の板をボルト締めし、燃焼室を中に持つ鍊鉄製の U 字型の煙道をこの板に銲接した¹⁰。最もコンパクトにするためシリンダーがボイラ内部に置かれた¹¹。これは今日コーニッシュボイラと呼ばれている。

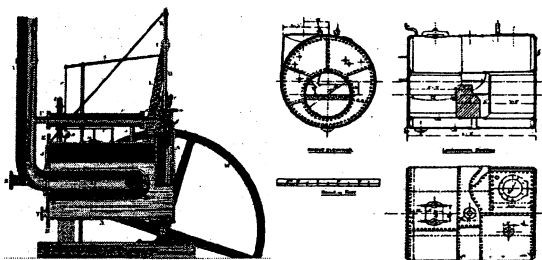


Fig 3 トレヴィシックのボイラ、左:鑄鉄製 1806、右:鍊鉄製 1811

1803 年 9 月 8 日グリニッジでトレヴィシックのボイラが爆発する事故が起きた¹²。トレヴィシックは高压蒸気を扱うボイラを鑄鉄で製作する事が安全上で相応しくないと考え、1811 年以降ボイラを鍊鉄で製作ようになる。1811 年、コーンウォールのダルコース鉱山にトレヴィシックは 3 つのボイラを建設し、内 2 つは鍊鉄製円筒形ボイラであった¹³。しかし、鍊鉄を用いるこの試みも失敗した。このボイラは 1813 年に前板と円筒製部分の継

⁹ H・W・ディキンソン『蒸気動力の歴史』平凡社、1994 年、p.143.

¹⁰ H・W・ディキンソン『蒸気動力の歴史』p.144.

¹¹ H.W.Dickson and Arthur Titley, *Richard Trevithick, The Engineer and The Man*, Cambridge, (1934) p.61.

¹² Dickinson and Titley, *Richard Trevithick*, p.60.

¹³ W.D.Wansbrough, *Modern Steam Boilers*, (1913) pp.3-4.

ぎ目から蒸気もれた。

アーサー・ウルフ (Arthur Woolf, 1766-1837) は優れた機械工作の技能を持つ技術者として知られ 2 段膨張機関の開発に取り組んだ。1811 年コーンウォールで揚水機関を製作し始めたが、鑄鉄でつくられたボイラは加熱と冷却を繰り返しているうちに、き裂が進展して水が漏れてしまった。彼は初期の 2 段膨張機関の開発において正しい事は何一つ行っていない。彼はボイラを鑄鉄で製作する事を奨めている。なぜなら錬鉄製のボイラより鑄鉄製ボイラの方が強く、より信頼性が高いと考えていたからである¹⁴。しかしその複雑な構造から来る強度上の弱点を完全に克服する事ができなかった。当時の使用可能な材料と加工技術の水準からくるボイラ製造の困難は、結局ウルフの機械製作の技能をもってしても解決できないものであったのである。そのためウルフはこの機関をあきらめざるえなかった。そして 1818 年にはトレヴィシックの設計による巨大な錬鉄製ボイラを製造するに至ったのである。

3.1.2. アメリカにおける高圧蒸気機関の開発

アメリカにおいて高圧蒸気機関の開発はオリヴァー・エヴァンス (Oliver Evans, 1755-1819) によって行われた。アメリカでは、高圧機関を製造するのはイギリスよりも困難であった。それはボイラに使用する材料の不足によって引き起こされたのであり、大陸封鎖の影響とアメリカにおける製鉄技術の未熟から引き起こされていたのである。

エヴァンスが製作したボイラは形式ではイングランドで製作されたものと同じである。決定的に異なったのは、ボイラに使用された材料で、初期には木製の外殻をもったものもあった¹⁵。

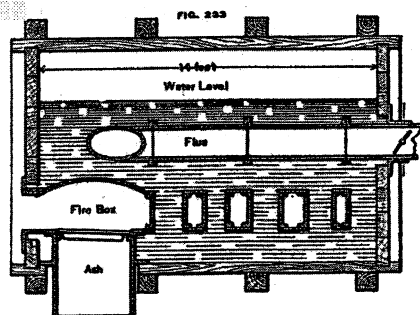


Fig 4 木製ボイラの断面図

当時はまだアメリカ大陸にはパドル鉄は入っていなかったため¹⁶、パドル鉄は使用できなかった。彼は最後には外殻を鑄鉄、煙管に錬鉄を使用する事にした。

3.1.3. 初期の高圧蒸気機関が鑄鉄製であった理由

1800 年以降、ボイラ用材料に鑄鉄が採用された。だが鑄鉄は引張荷重に弱い。ワゴンボイラにパドル鉄が使用されていた事を考えると、鑄鉄の使用は後退とも思われる。この原因を考えるには当時の鉄板の加工技術を考慮する必要がある。

パドル鉄は人間が手作業で製造するので、鉄塊の大きさは人間がパドリングできるサイズに限定される。パドルボールはおおよそ 15~25kg ほどの塊¹⁷であった。最大でも 30kg ぐらいが人間が扱える限界である推定される。1790 年にコールブルックデール製鉄所は圧延によって 1.22m × 0.203m × 0.0127m の大きさの鉄板を製造できた¹⁸。鉄の密度を 1 立方 cm 当たり約 7.86g とすると、この鉄板の質量はおおよそ 24.7kg に相当する。しかし現在から見れば大した大きさではないこの鉄板でさえ、その他の工場では圧延できなかったのである。

ボイラを製造するにはこの鉄板では小さすぎるので、これを接合しなければならなかった。これはリベットで接合されたが、この技術も不十分であった。当時は手動の打ち抜き機を使ってリベット穴を空けたため鉄板内にひずみが残った。また鉄板を重ねたときに穴が合わず、試行錯誤によって穴を空けたのである。ボイラにおいてはこの継ぎ目が一番の弱点になる。これは鉄板の大きさが限定されるパドル鉄を使用する上で必ずつき

¹⁴ Partington, *Historical Account*, p.112(Richard Hills, *Power From Steam*, p.130)

¹⁵ Allan Stirling, "Shell and Water-Tube Boilers," *Transactions of the ASME*, Vol.6 (1883), pp.589-590.

¹⁶ Göran Réden, "Skill and Technical Change in the Swedish Iron Industry, 1750-1860," *Technology and Culture* (Vol.39, 1998.) p.392.

¹⁷ ルードウィヒ・ベック(中沢護人訳)『鉄の歴史』たたら書房、III-2、p.457.

¹⁸ Arthur Raistrick, *Dynasty of Ironfounders, The Darbys and Coalbrookdale* (1953), p.160.

まっていた事である。それに対し鑄鉄の場合は鑄造する事で継ぎ目のない円筒形容器をつくる事が可能なのである。

また当時ボイラの強度を上げる方法として考えられていた事はボイラの肉厚を上げる方法であったが、当時圧延鉄板は薄かった(0.79~0.95cm)。圧延して厚い鉄板を製造するには、大きいスラブを圧延する必要があるが、パドル法では巨大な鉄塊を製造できなかつた。また仮に大きな鉄塊をつくれたとしてもそれを圧延できるような強靱な圧延機が存在しなかつた。ウルフを始め多くの技術者がリベット留めされたパドル鉄製ボイラが鑄鉄製ボイラよりも強度があるとは考えられず、実際鑄鉄ほどの厚さにパドル鉄を成形する事など不可能であった¹⁹。しかし鑄鉄は不均一な熱にさらされるボイラ用材料としては不適切なものであつたし、当時は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つた。そのためボイラ技術者たちは鑄鉄からパドル鉄へ移行するようになる。しかし、継ぎ目の問題が解決されていなかつたため、パドル鉄製コーニッシュボイラもよく事故を起こしたのであつた。

3.2. 円筒形 2 炉塔ボイラへの鑄鉄の使用

3.2.1. フェアベーンによるランカシャーボイラの開発

円筒形 2 炉塔ボイラ(ランカシャーボイラ)は 1844 年ウィリアム・フェアベーン(William Fairbairn, 1789-1874)とジョン・ヘザリントン(John Hetherington)によって特許が取得された。

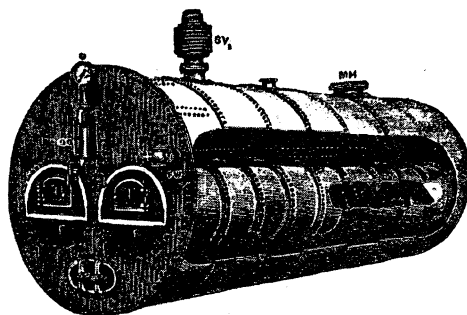


Fig 5 ランカシャーボイラ(1880 年代)

ランカシャーボイラは、初めは鑄鉄板を巻いてリベット止めしてつくられていた²⁰。ランカシャーボイラを安全に運転するための主な改良点は、第 1 に使用する鉄板の厚さを増す事、第 2 に銲接法の改良である。第 3 に鋼もしくは均一な金属を用いる事であつた。

3.2.2. 圧延技術の発達による厚板の製造²¹

円筒形ボイラにおいて継ぎ目の数を減らし、高い蒸気圧に耐えられるように鑄鉄製前板は大きさと厚さを増した。1838 年にはコールブルックデール会社は最高で 3.23m × 1.55m × 1.11cm、356~406kg の鉄板を製造できた²²。20kg ほどのパドルボールからどうやってこのような大きな鉄板を製造したかは不明である。だが筆者は次のようにして大きい鉄塊を製造していたのだろうと考えている。すなわち鉄を溶着させる方法で、ルッペを棒鉄か幅の広い厚い棒にし、これをいくつかの片に分断し、何個か重ねて束ね鉄にする。この束ね鉄を再び溶着反射炉で溶着熱まで加熱し、仕上げ圧延機にかけて溶着させるのだが、厚板を製造する場合は、さらに多くの鉄片を重ねたのではないだろうか。これが最も現実的な厚板の製造方法であると考えられる。しかしながら、鉄塊を溶着させる方法では、その製造過程で何らかの欠陥が材料中に含まれてしまう可能性が高い。したがってこの巨大な鉄板の製造には非常に熟練した技能が必要であつたはずで、当時これをやり遂げる事ができたのはコールブルックデール製鉄所だけであつたのだろう。故にこのような大きな鉄板は例外的で、この板は普通銲接されていた。0.5in の板が手でリベット止めするには限界であつたからである²³。

3.2.3. 機械によるリベット打ち

継ぎ目の改良についてさまざまな改良がなされたが、最も重要なものは、1837 年にフェアベーンが開発し

¹⁹ Richard Hills, *Power From Steam*, 1989, p.127.

²⁰ シンガー『技術の歴史』第 9 巻 A・ストワーズ、石谷・坂本訳 p.107.

²¹ Richard Hills, *Power From Steam*, p.139-140.

²² Rhys Jenkins, *Boiler Making*, in his *Collected Papers*, 1936, p.129 (Raistrick, *Dynasty of Ironfounders*, p.259)

²³ Armstrong, *Rudimentary Treatise*, p.97. (Hills, *ibid* p.139-140)

たりベット打ち機である²⁴。

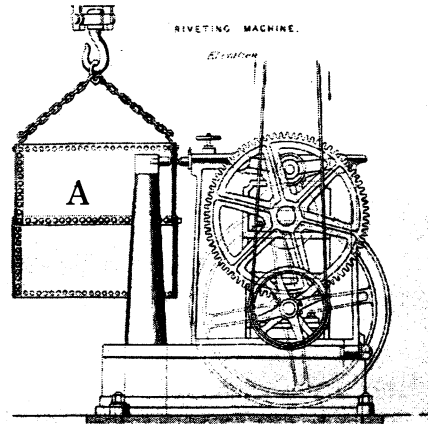


Fig 6 フェアベーンのRiveting Machine²⁵

当時はボイラ用鉄板に大抵3/8inの錬鉄製鉄板を使用していたが、これによって3/4inより厚い板を釘止めできるようになった。これは工業の様々なところに使用できるものであったが、フェアベーンは最初からこれをボイラの製造に用いようとしていた。Fig 4 でリベットを打ち付けている”A”はボイラである。

こうした圧延技術と工作機械の発達がランカシャーボイラのさらなる圧力上昇を支えたのである。

3.3. 円筒形 2 炉塔ボイラへの鋼の使用

フェアベーンはさらに高圧の蒸気に耐えうるボイラを製作するためにより引張り強度に優る材料を必要としていた。また錬鉄製ボイラはよく腐食を起こしていた。パドル鉄がその製造過程で不可避免的に酸化物と不純物が混入し、その結果、パドル鉄は一見継ぎ目のない塊であるかのように見えるが、実は層状の塊なのである²⁶。そして腐食が始まる時には、その層状の境界に沿って腐食が発生した事は容易に推測される。したがって引張り強度を上げる事と共に腐食を防止するためには、不純物を無くし均質な金属を製造する事が明らかな解決策なのである。それは金属をいったん熔融状態にし、それを鑄型に流し込んで成形する事で解決されると考えられていた。またボイラの製作において鋼が特に適する事は、早くから実証されていた。鋼板ならばずっと薄くできる事がその理由である。それに応えたのが 1850 年代にアルフレート・クルップ (Alfred Krupp, 1812-1887) が大量生産した鑄鋼と 1856 年にヘンリー・ベッセマー (Henry Bessemer, 1813-1898) によって発表された転炉法(ベッセマー鋼)である。このうち最も技術的・社会的インパクトがあったベッセマー鋼のランカシャーボイラへの使用について検証する。

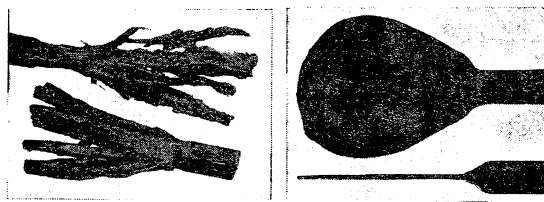


Fig 7 蒸気ハンマーで棒鉄を叩いたサンプル。左:パドル鉄, 右:ベッセマー鋼

3.3.1. 近代熔鋼法の成立とランカシャーボイラへの鋼の利用

ボイラにベッセマー鋼を使用する最も大きな契機となったのは 1861 年シェフィールドで開催された

²⁴ Armstrong, *Rudimentary Treatise*, p.97. and Jenkins, *Collected Paper*, p.130. (Richard Hills, *Power From Steam*, p139-140)

²⁵ William Fairbairn, "An Experimental Inquiry into the Strength of Wrought-Iron Plates and Their Riveted Joints as applied to Ship-building and Vessels exposed to severe strains". *Philosophical Transactions*, (1850), pp.688.

²⁶ Henry Bessemer, *Sir Henry Bessemer F.R.S. An Autobiography*. (London: 1905.) p.223.

Institute of Mechanical Engineers の年会である。シェフィールドに住んでいたベッセマーも当然のように「鑄鋼の製造とその構造用途への使用」と題して発表した²⁷。その会議録によるとすでに、ダニエル・アダムソン(Daniel Adamson, 1820-1890²⁸)らによって 1858 年からボイラ用鉄板としてベッセマー鋼が使用されていた事がうかがえる。これは非常に興味深い事で、ベッセマー鋼は、発表当初(1856 年)から多くの非難にさらされており、特にベッセマーは自分の新しい鋼を大砲に使用するつもりで開発したため、大砲の製造業者・技術者であるウィリアム・アームストロングを始めとして、多くの製鋼業者によって攻撃されていたからである。彼らのベッセマー鋼に対する評価は、ベッセマー鋼は信頼性が低い、というものであり、アームストロングは決してベッセマー鋼を大砲に使用しなかった。その理由は、アームストロングが大砲製造における彼自身の独占的な立場を守ろうとしたためであろう。

それに対しボイラ製造業者は積極的にベッセマー鋼を使用したのである。まず 1858 年 9 月 British Associationで行った「機械技術に関する進歩」に関する報告で当時ボイラ製造において最も権威のあったフェアベーンがベッセマー鋼を擁護する発言をした。さらにベッセマー鋼で製造された最初のボイラ用鉄板のサンプルは 1858 年 9 月 8 日フェアベーンの会社に供給された²⁹。またアダムソンはこの新しい鋼を積極的に採用した。この理由はボイラがさらに大型化、高温・高圧化が求められていたからであり、ボイラに使用される材料は他のどんな用途よりも、求められる材料の水準(引張り強度、耐腐食性)は高いものになっていて、すでにノドル鉄ではボイラが要求するこの条件に応える事はできなくなっていたからである。このような蒸気ボイラにベッセマー鋼を使用した実績は次第に多くの技術者が認めるようになり、その結果 1865 年 the railway authoritiesによって、ボイラ用鉄板に錬鉄に代わって引張強度に優るようになった軟鋼の使用が許可されたのである³⁰。

3.4. 高圧蒸気機関用ボイラと材料技術との関係

高圧機関の導入は技術的なメリットによって起こったのではなかった。それは利子率が上昇しつつあった 18 世紀末とその後の時期において、一部の発明家は資本の節約という目的にその心を向けていたためである³¹。ワット機関は非常に巨大で、そのため多くの土地を必要とし、機構も複雑であったため製造にも運転にも経費がかかったのである。それに対し高圧機関は、小さくても高圧で動作するため出力を稼ぐ事ができたのであった。

しかし高圧機関の本質的意義は、高温化による熱効率の向上にあるが 19 世紀初頭においてはこういった事は顧みられず、高圧機関は効率の悪いものと考えられていた。この事は初期の高圧機関が直接大気中に蒸気を排出していた事からも明らかである。しかし技術者たちの経験によって、高圧機関が単に初期費用・経費の削減のみにとどまらず熱効率の改善に大きな影響を及ぼすものと考えられるようになっていった。さらにカルノー(Nicolas Leonard Sadi Carnot, 1796-1832)が 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とされた。これはカルノーの定理と呼ばれ非常に重要であるが、あまりに先駆的でありすぎた。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事はなかったであろう。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、蒸気機関において高圧化というのは、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。こうして高圧蒸気の利点が明らかになり、また動力需要の増大もあって、ボイラ効率がよく、高圧蒸気に耐えうるさまざまなボイラ形式が考案された。ワゴンボイラでは内部に平板部があったため、どんな材料を用いようとも、内圧に耐えられなかった。したがって、高圧機関の開発は、何よりもまず高圧に耐えうるボイラ形状を考案するところから始まったのである。ボイラは銅鍋から压力容器へと変化を余儀なくされ、それに相応しいボイラ形状は、球形もしくは円筒形が最も強い事は明らかである。さらに高い熱効率を求められ、放射熱を減らすためにも球形もしくは円筒形が相応しい。このボイラ形状の劇的な変化は高圧蒸気を用いるというひとつの目的によって起こったものであった。しかし、度重なるボイラ事故など、高圧蒸気ボイラの開発は困難を極めた。その原因は信頼性の高い材料がなかった事と加工技術の未熟によるものであった。

²⁷ Henry Bessemer, "On the Manufacture of Cast Steel and Its Application to Constructive Purposes." *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*. (July 1861), pp.143-149.

²⁸ The Institute of Mechanical Engineers, "Memoirs," *Proc. Inst. Mech. Eng.*, Jan. 1890. pp.167-171.

²⁹ Bessemer, *Bessemer, Autobiography*. p.221. And R.A.Hayward, *Fairbairn's of Manchester. The History of Nineteenth Century Engineering Works*. 1971. 2.49.

³⁰ H・W・ディッキンソン『蒸気動力の歴史』p.188. in addition, Richard Hills, *Power From Steam* (<R.J.Law, The Steam Engine(London 1965) p.31.>), p.140.

³¹ T.S.アシュトン(中川敏一郎訳)『産業革命』岩波文庫, p.106.

19世紀、ボイラ技術者たちは高い圧力に耐えるボイラを製作するため、引張り強度と耐腐食性に優る材料を要求したのである。

4. 結論

以上のようなボイラの変遷をまとめると次の表のようになる。これらボイラと材料との関係は前章まででのべた通りであるが、ここからさらに一般的に検証してみると次のようになる。

セイヴ アリー	ニュー コメン	ワット		トレヴィシッ ク ウルフ			フェアバン	
ヘイスタック		ワゴンボイラ		コーニッシュボイラ			ランカシャー ボイラ	
1700	1725	1788	1795	1803	1811	1837	1844	1858
銅	鍛鉄		パド ル鉄	鑄鉄	パド ル鉄	加工技術が 発達した錬 鉄	軟鋼	

Fig 8 ボイラ形式の変化と材料との関係

第1に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。その理由は、新材料は加工技術が未熟である場合が多く、そのため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。

第2に、蒸気ボイラの性能の発展にとっては、形式の変化が主導的であり、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事ができないが、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応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。Fig9にボイラの蒸気供給圧力の変遷を示す。

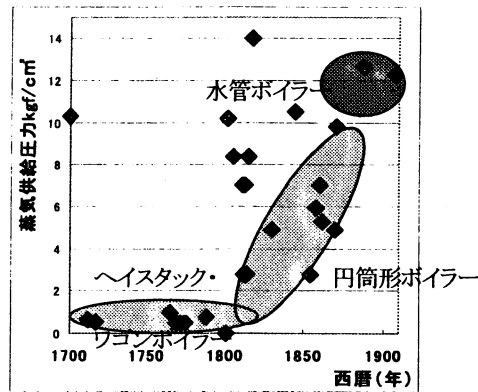


Fig 9 蒸気供給圧力の変遷

第3に材料技術の変化はその形式の中における性能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である。しかし、材料に関することは軽んじられやすい。それはまず最初に特定の作業の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(機械や装置)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、遅れて問題とされるからである。

第4に、以上の蒸気ボイラのケーススタディがどれだけ一般化できるかについては、今後の課題となる。

日本におけるテクノロジー・アセスメント行政の歴史的経過と考察

—通産省 工業技術院の取り組みを中心に—

水沢光(98M42281) 指導教官:中島秀人,梶雅範

序

1960年代末から1970年初頭にかけて、公害問題の深刻化、軍事技術の制限の無い発展等を受けて、科学・技術の在り方への批判が国内外で高まった。1960年代末にアメリカで生まれたテクノロジー・アセスメントは、こうした批判に答えるものとして現れた。1969年に、テクノロジー・アセスメントは日本にも紹介された。アメリカでは、1972年に、テクノロジー・アセスメント法が成立し、議会にOTA(テクノロジー・アセスメント局)が設立された。その後、OTAは、1995年に、共和党主導の議会において、予算削減の影響を受け、廃止されている。日本でも、テクノロジー・アセスメントの取り組みは、終焉している。

テクノロジー・アセスメントは、政策科学の影響を受け、専門家が「科学的」に技術評価をする、という特徴を持っていた。こうした特徴は、テクノロジー・アセスメントの限界をも規定するものであった。しかし、アメリカのOTAのように、23年間にわたって650冊もの報告書を出し、政策決定に影響を与えたテクノロジー・アセスメント機関があったことも事実である。一方で、日本でのテクノロジー・アセスメントは、ほとんど機能しなかった、といわれる。

本論文では、テクノロジー・アセスメントの在り方が、社会状況の相違により異なり、日本では、アメリカとは違った独特のテクノロジー・アセスメント制度が策定されたことを明らかにした。また、そうした日本型テクノロジー・アセスメントが誕生した背景と、それらがなぜ機能しなかったのかを考察したものである。

本研究で用いたテクノロジー・アセスメント関連の審議会議事録等は、最近になって公開された未公開資料である。1998年12月22日付けで、280冊におよぶテクノロジー・アセスメント関連の資料が、工業技術院図書館に受け入れられた。これらの資料は、これまで工業技術院技術調査課内で保管されていたものと思われる。この中には、えんぴつ手書きの審議会議事録要旨、答申作成過程の答申案などの内部資料も含まれている。これらは、国会図書館支部である工業技術院図書館に収蔵されたことから、一般に閲覧できるようになった。本論文では、これらの資料をもとにすることで、当時の詳細な状況を明らかにした。また、本論文の作成にあたり、林雄二郎(日本財団顧問)、岸田純之助(日本総合研究所名誉会長、政策科学研究所参与)、堤佳辰(前・日本経済新聞論説委員)、森谷正規(放送大学教授)、牧野昇(三菱総合研究所相談役)の各氏からお話を伺うことができた。特に、1970年代の状況を述べる際に参考にした。

1. 前史 アメリカからの流入

テクノロジー・アセスメントという言葉がアメリカで初めて公式に使われたのは、1966年10月、下院科学宇宙委員会科学研究開発小委員会の報告書であったといわれる。同小委員会はその報告書の中で、「新しい科学技術がもたらす利益だけでなく、それが持っている危険性に注目し、同時に科学技術の性格を国民に知らせる」必要を述べ、そのための新しいシステムの設立を要請したという。当時のアメリカでは、莫大な研究・開発費への不満と、DDTなど新技術による環境破壊が社会的に問題になっていた。アメリカでのテクノロジー・アセスメントは、国家的問題への政策提言、議会による科学・技術のマネジメントとして推進された。1969年11月に訪米した産業界予測特別調査団が、テクノロジー・アセスメントを日本に紹介した。

2. 日本での受容

1960年代末から1970年代初頭にかけて、高度経済成長の歪みが明らかになり、公害が社会問題化した。こうした中、テクノロジー・アセスメントは、政府の答申に登場した。公害問題などの批判に対して、具体的な対応の他に、テクノロジー・アセスメントを持ち出すことにより、理念的な改革の姿勢を示すことができた。

日本では、官庁が主導する形でテクノロジー・アセスメントが導入された。通産省と科学技術庁が、時に協力しながらも、先を争ってアメリカの動向を探った。しかし、官庁が主導する故に、議会主導だったアメリカのテクノロジー・アセスメントとは異なる制度が策定されることになっていくのである。

アメリカでのテクノロジー・アセスメントをめぐる議論は、日本にも随時報告され、影響を与えた。1970年代には、OECDでテクノロジー・アセスメントが提唱されるなど、さまざまな経路を通じてテクノロジー・アセスメントが日本にもちこまれた。こうした国際的な交流が、日本でのテクノロジー・アセスメントを推進する一つの要因になった。

3. 日本でのテクノロジー・アセスメント手法

通産省で行われた原子力製鉄、メタノールの大規模利用、合成紙の3つのテクノロジー・アセスメントを基に、通産省におけるテクノロジー・アセスメントの過程をまとめると、以下のようになる。1) 基本的に通産省が所管する技術の中から、社会に大きな影響を与えそうな技術を対象に選ぶ、2) 技術予測をもとに、対象技術が使用される状況を想定する、3) こうした予測から、対象技術の影響を、専門家や官僚が評価する。

このような過程から解明された通産省におけるテクノロジー・アセスメント手法の特徴をまとめる。以下の特徴は、相互に関係のあるものだが、あえて箇条書きにする。

第1に、受動的な立場からの「技術評価」だという点である。技術の実現を、ある意味で必然と捉えている点で、受動的な立場からの「技術評価」と言える。例えば、原子力製鉄のテクノロジー・アセスメントでは、はじめから原子力製鉄の意義を認め、実現時期を予測しているのである。しかも、報告書で想定された、原子力製鉄、メタノールの大規模利用、合成紙の普及が全て実現していないことから分るように、こうした技術予測的中率は非常に低いのである。

第2に、新技術がもたらす影響を探る「技術出発型」のテクノロジー・アセスメントである点である。解決されるべき問題から出発して、その手段を探るという「問題出発型」と対照をなす。報告では、「原子力製鉄」という技術がまずあり、それをもとにしてテクノロジー・アセスメントが行われている。テクノロジー・アセスメントを行った工業技術院では、テーマを選択するに当たり、通産省の所管の技術かどうか、などの検討を行った。ここでは、対象となる技術を選択するだけであり、解決すべき問題をテーマとして選ぶという発想は、そもそもなかった。

第3に、報告におけるテクノロジー・アセスメントの位置づけ・目的が、非常にあいまいであったという点である。通産省のテクノロジー・アセスメントでは、対象技術の及ぼす広範な影響が評価の対象になった。このため、対応策を講じるべき主体は、当該企業、政府、地方自治体、相手国までさまざまであり、対応策を講じる時期もばらばらであった。現在の政府における政策選択への提言というアメリカのOTAに比べると、テクノロジー・アセスメントの目的、焦点がはつきりしなかった。どのレベルでの意志決定のためにテクノロジー・アセスメントを行うのかはつきりしていないことは、テクノロジー・アセスメント結果の反映をも困難するものであった。

第4に、対象技術を評価する主体が、専門家や官僚等に限定されていた点である。これは、市民が主体となって評価を行うコンセンサス会議などと対照的である。テクノロジー・アセスメントにおける評価とは、専門家が「科学的」にシステムティックに行うものであった。技術開発を、市民をも含めて社会で選択する、さまざまな価値観に照らして合意を形成するという在り方とは異なるものであった。テクノロジー・アセスメントにおいては、「科学的」評価の中に、「意志決定」が混同されてしまっていたといえる。

4. 審議会での議論

1970年代前半に行われたテクノロジー・アセスメント関係の4つの審議会の議事録要旨に基づき、審議会の議論の特徴と、議論の前提になっている考え方をまとめる。

第1に、行政府によってテクノロジー・アセスメントを推進するという、一貫した方針を持つという点である。アメリカのOTAのような、立法府に直結した機関の設置、あるいは行政府から独立した機構の設置については、ほとんど議論されなかった。

第2に、テクノロジー・アセスメント実施の主体者として、専門家に限定している点である。中立的な第三者から、開発者自らの実施へと変化した。どちらにおいても、テクノロジー・アセスメントの専門家が、テクノロジー・アセスメントを実施するという点では共通する。テクノロジー・アセスメントをある種の政策科学として捉え、「科学的」に技術を評価できるという発想があったことがうかがえる。

第3に、国の研究開発に対するテクノロジー・アセスメントについて、ほとんど議論がないことである。主に、民間企業で開発される技術に関するテクノロジー・アセスメントが問題となり、どうしたら企業にテクノロジー・アセスメントを実施させられるかに議論が集中した。民間技術に比べ、行政主導で管理制度が整備しやすい、国の研究開発については、逆に論議がなく、その結果、対策も講じられなかった。

第4に、テクノロジー・アセスメントに対する理解の不一致があげられる。1974年2月21日の会議に提出した資料の中で、分科会委員である公文俊平(東京大学助教授)は「技術開発・新製品化が有害な外部効果になるべく出さないように意思決定方式を改善する。…“TA”とは、そのために有効な手段と考えられるものに対して漠然と与えられた名称にすぎない」と記している。理念的にテクノロジー・アセスメントの必要性を述べることは、公害等に対して「何か手を打とう」というほどの意味しか持たなかった。具体的な問題になると、利害が衝突し、はっきりした方針を打ち出せなかった。結局、中心的に議論した民間の技術開発についても、テクノロジー・アセスメントの実施を「企業の自主性」にまかせ、当面は環境整備のため「手法開発、普及活動」を行なうという、当たり障りのない答申しか出すことができなかった。

その後、こうした特徴を持つ審議会での議論・答申の範囲内で、テクノロジー・アセスメント推進の取り組みが、1990年頃まで細々続けられることになる。

5. 結論

1970年代半ばからは、工業技術院自体ではなく、日本産業技術振興協会を中心にテクノロジー・アセスメント手法の開発、民間企業への普及活動が行われた。こうした取り組みも見るべき成果を上げないまま、1990年頃までには終焉した。

これまでの議論から、日本でテクノロジー・アセスメントが根付かなかった理由について分析する。次のような事が指摘できる。

第1に、公害の社会問題化に対し、行政サイドがなんらかの理念的な対策を打ち出す必要から、テクノロジー・アセスメント自体の内容をあいまいにしたまま、これを利用したという経緯が指摘できる。ここでテクノロジー・アセスメントは、一種のポーズであり、導入による具体的な結果は求められていなかったと言えるのではない。テクノロジー・アセスメントの具体化が反対にあって進まなかった点を考えれば、現実にはテクノロジー・アセスメントがポーズとしてしか機能しなかったことが少なくとも指摘できるだろう。

第2に、テクノロジー・アセスメントの方法自体の持つ問題点が指摘できる。これは、3節で述べた、日本型テクノロジー・アセスメントの特徴に依るものである。簡単に再説すると、a)受動的な立場からの「技術評価」であり、初めから対象技術の実現を必然と捉えており、その前提となる「技術予測」自体も不正確なものであったこと、b)「問題出発型」でなく「技術出発型」であり、意思決定すべき問題から出発していないこと、c)テクノロジー・アセスメントの位置づけがあいまいで、どのレベルの意思決定のために実施するのかはっきりしないこと、d)専門家が、対象技術の評価だけでなく、意思決定までしてしまおうとしたこと、である。

第3に、1970年代初期に見られたOECD等のテクノロジー・アセスメントをめぐる取り組みが終わったことである。アメリカにおいても、国家政策に関して議会にOTAが設立されたものの、民間企業に対してはほとんどテクノロジー・アセスメントの普及が進まなかったという状況がある。こうした海外の状況により、他国企業との対抗上から、企業へテクノロジー・アセスメントを普及するという政策の意義も失われることになったのである。

本論文では、専門家が「科学的」に技術評価するという特徴が持つ問題点については、立ち入って分析することができなかった。今後は、テクノロジー・アセスメントの持つ限界を、市民が主体になって評価を行なうコンセンサス会議など、現在試みられている他の技術評価の在り方と対比して、原理的に考察することも必要であろう。

連関論理とその意味論についての研究

98M42358 金 賢淑

指導教官：藁谷敏晴

SYNOPSIS

This paper is a result of my survey of *relevance logic*. It would not be out of point to mention at the outset that relevance logic is not a single logical system. Rather it is a group of various logical systems that center around the same logico-philosophical motivation, namely the problems that are known as “paradox of implication”.

The study of relevance logic goes back to the works by Church, A., Mao, C.K and Ackerman, K. (exactly Orlov), and they were afterwards intensively investigated among others by Anderson, A. R. and Belnap, N. D.. They were designed to be systems that were free from the so-called “paradoxes of implication” that had bothered logicians since the birth of the standard prepositional logic. The central matter of relevance logic centers around the meaning connection expressed by “if ... then” that we think exists in natural language. As the so-called material implication does not reflect this meaning connection, groups of logicians had been motivated to construct logic systems which avoided the inconvenience in question.

Since the time of Anderson and Belnap various systems of relevance logic have been proposed and studied. We chose in this paper the system R including its subsystem (called R_{\rightarrow}, R_{fde}) and studied them both syntactically and semantically. In studying R_{fde} , the role of distributive lattices with involution, usually known as De Morgan lattice in algebra was carefully examined in connection with four-valued De Morgan lattice. This study is, I hope, more detailed than those we find usual papers.

1 本論文の目的

現在、「含意の逆理」と呼ばれる命題の除去を目的とした様々な論理体系が現れ、その研究は非常に盛んに行われている。その一つが数理論理学の一つの新しい分野とも考えられる連関論理である。連関論理は、日常言語における「ならば」がもつ意味的関連性を考慮に入れることにより「含意の逆理」の除去を試みたものである。

連関論理の体系的な体系としては Anderson, A. R. と Belnap, N. D. により開発された体系 R と E などが挙げられる。連関論理の諸体系やその意味論についてすでに様々な研究がなされているが、それにも関わらず「連関性とは何であるか」という基本的問題の十分な解明にはほど遠いのが現状である。

本論文では連関論理の代表的体系 R に照準を合わせ、それに関する系統的考察を行うことを目的とする。主たる内容は、

- 体系 R を中心とした、その部分体系も含めての構文論的立場から体系が持つ基本性質と特徴、また他の体系との相関関係についての詳

しい考察である。

- 一階連関含意体系 R_{fde} と体系 R との意味論の詳細な研究とそれに基づく健全性と完全性の証明である。

2 本論文の構成

本論文の構成は以下の通りである。

一章 序論

ここでは、連関論理で問題とされる「含意の逆理」とはいかなるものか、また連関論理の背景について述べる。

「含意の逆理」:

古典論理で通常扱われる含意¹は、「実質含意 (material implication)」と呼ばれるものである。実質含意はただ命題の前件と後件の真偽だけで命

¹日常言語における「ならば」に相当するもので、通常 $A \supset B, A \rightarrow B$ などと記号化して「 A ならば B 」または「 A が B を含意する」と読む。なお、 A を前件とよび、 B を後件と呼ぶ。

題全体の真偽が決められる。しかし、日常言語の「ならば」の用法によると、前件と後件の間に何らかの意味的関連を要請しているように考えられる。このような日常言語における「ならば」の用法と実質含意の間の齟齬に注目してみると、古典論理では明らかに違和感を感じさせる論理式が存在する。このような論理式のことを「含意の逆理 (Paradox of implication)」とも呼ぶ。その体系的なものを以下に挙げる。

- (1) $A \rightarrow (B \rightarrow A)$
- (2) $\sim A \rightarrow (A \rightarrow B)$
- (3) $A \wedge \sim A \rightarrow B$
- (4) $A \rightarrow B \vee \sim B$

ここで、(1)と(4)は真な命題は任意の命題から含意されることを意味し、(2)と(3)は偽な命題は任意の命題を含意する事を意味する²。

これは、やはり実質含意において前件と後件の間に、意味的関連性 (connection of meaning) が要請されていないという点に、原因があると分析される。

連関論理の背景：

19世紀末から20世紀初期に渡って論理学と数学の親近性を強調する現代的傾向の中で Frege と Russell により発展されたきた現代論理学では、「pならばq」を「pでないかまたはqである」と同義して「ならば」を実質含意で扱っている。

それに対し Lewis[1913]は、AがBを含意するというとき、「BがAから必然的に導かれる」を意味すると主張し、厳密含意と名付けている。従って、彼の含意としては $A \rightarrow (B \rightarrow A)$ と $\sim A \rightarrow (A \rightarrow B)$ のような式の妥当性は認めない。しかし、彼の厳密含意では式 $A \wedge \sim A \rightarrow B$ のような「含意の逆理」と呼ばれる式が定理として導出できるという非直観的性質が残っている。

一方、意味的関連を考慮に入れる含意に関する最初の体系は Orlov(1928)の純含意—否定体系である。彼は古典論理で真理関数と解釈される連言結合子の代わりに、命題の真偽とは関係ない“compatibility”と呼ばれる概念を導入し、“p is compatible

with q”を「pがqの否定を含意しない」と定義し、実質含意と区別する。

そして連関論理の研究としてもっとも注目を受けているのが50年代初期の Church, A. の The weak positive implicational propositional calculus と Moh. S. K の “connective system” と呼ばれる体系である。 $A \rightarrow (B \rightarrow A)$ のような式の除去を巡って Church, A. は、古典論理の公理 $A \rightarrow (B \rightarrow A)$ の代わりに式 $A \rightarrow A$ を公理として入れる。一方、Moh, S. K. は、例えば、前提 A から B が推論された場合、B の推論に A が確実に使用されている時、そしてその時に限り $A \rightarrow B$ を推論してもいいという制限を加える。

もう一つ連関論理に強い影響を与えたのは Ackermann, W. [1956] の厳格含意 (Strengte Implikation) 概念である。彼は $A \rightarrow B$ によって表現される厳格含意は、A と B との間にある意味における論理的な関連が存在する事、言い換えれば、B が持つ意味が A が持つ意味の一部であると示している。従って、式 $A \rightarrow (B \rightarrow A)$ の普遍的な妥当性は認めない。なぜなら A が真である事と、B と A の間に意味的関連があるかどうかとは無関係だからである。同様に $B \rightarrow (A \rightarrow A)$ の妥当性も認めない。

そして50年代以来、このような人たちの仕事に基づいて、Anderson, A. R. と Belnap, N. D. が連関論理 (Relevance Logic) と帰結論理 (Entailment) という数理論理の新しい分野を構築した。その体系的体系として体系 R, E 等が挙げられる。³

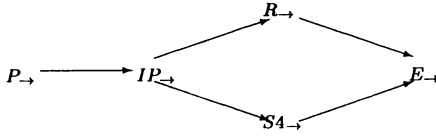
第二章 純含意命題論理体系

純含意命題論理体系とは結合子として含意記号だけを含む命題論理体系である。ここでは、主に構文論の立場から、Fitch Style で書かれた連関含意体系 FR_{\rightarrow} と Hilbert Style で書かれた公理体系 R_{\rightarrow} を用いて連関含意というものが体系内でどのように形式化されているかについて考察を行う。その際、他の体系、例えば、直観主義含意体系 IP_{\rightarrow} と厳密含意体系 $S4_{\rightarrow}$ および帰結体系 E_{\rightarrow} を簡単に紹介し、その相関関係について調べておいた。その関係を整理すると次の図式で表すことができる。

³連関論理は「含意の逆理」と呼ばれる式 $A \wedge \sim A \rightarrow B$ を除去できる事で、矛盾を許容する論理体系とも呼ばれており、Paraconsistent Logic の一つの選択肢とも考えられている。

²(1)と(2)を実質含意の逆理と呼び、(3)と(4)を厳密含意の逆理と呼ぶ場合もある。

ここで、例えば、 $P_{\rightarrow} \rightarrow IP_{\rightarrow}$ は IP_{\rightarrow} が P_{\rightarrow} の真部分体系である事を示す。



なお、もう一つ明らかになるのは、“式 A が体系 E_{\rightarrow} の定理ならば、そしてその時に限り A は体系 R_{\rightarrow} の定理でありかつ体系 $S4_{\rightarrow}$ の定理である。”という命題が成立不可能である事である。なぜなら、式 $A \rightarrow ((A \rightarrow (A \rightarrow B)) \rightarrow (A \rightarrow B))$ のように体系 R_{\rightarrow} と $S4_{\rightarrow}$ の定理であるが E_{\rightarrow} の定理でない式が存在するからである。

第三章 一階連関含意体系 R_{fde}

体系 R の部分体系でもある一階連関含意体系 R_{fde} を紹介する。純含意体系では連関含意が式の中で数回現れることを許しているが、ここで紹介する体系 R_{fde} では (fde は first degree entailment の簡略である。) 連関含意と解釈される記号 \rightarrow が体系の全ての式の中で多くても一回しか現れない。さらに、全ての定理は $A \rightarrow B$ の形式の式であり、ここで A と B は真理関数と解釈されるものである。この体系では、次のような重要な特徴があることが示せる。

- 含意標準形の存在定理。
- 体系 R_{fde} の決定可能性。
- 連関含意の前件と後件が持つ共通命題変数の成立 (連関性)。

従って、体系 R_{fde} では $(p \wedge \sim p) \rightarrow q$ と $p \rightarrow (q \vee \sim q)$ のような式は定理にならない。それは前件 (例えば $p \wedge \sim p$) と後件 (例えば q) の間に共通命題変数が存在しないからである。

なお、 R_{fde} の意味論として De Morgan 束の適切性などについて詳しく考察を行い De Morgan 束構造を用いて一つの代数モデルを提示する。その際、フィルターによって4つの同値類への分割可能であることとこの論理的事実を反映する4値の De Morgan 束の存在が明らかになる。さらに、それに基づいて健全性と完全性の証明を詳しく行っている。

第四章 連関命題論理体系 R

全体体系 R について、構文論の立場から、Fitch Style で書かれた自然演繹体系 FR と Hilbert Style で書かれた公理体系 R を提供し、二つの体系の同値性について証明を与える。さらに、体系 R が持つ重要な性質を例示し、詳しい証明を与えている。その性質を以下に挙げる。

- 体系 R の無矛盾性。
つまり、 R の任意の論理式 A に対して、 A と $\sim A$ が同時に体系 R の定理にはならない。
- 派生規則 γ の成立。
任意の式 A と B に対して、 A と $A \supset B$ 体系 R の定理であるならば、 B も体系 R の定理になる。(推論規則 γ の許容性問題ともいわれる。ここで、 \supset は実質含意を示す。)
- 連関原理の成立。
任意の式 A と B に対して、 $A \rightarrow B$ が体系 R の定理であるならば、 A と B には少なくとも一つの共通命題変数を持つ。

なお、体系 R の意味論として Routley-Meyer 意味論 (Relevance Semantics) を用いて考察を行い、それに基づき健全性と完全性定理の証明を詳しく行っている。Routley-Meyer 意味論では R 世界 (set-up) という概念を用いており、無矛盾性と完備性を持つ R 世界は様相論理の可能世界に似ている。しかし、 R 世界では矛盾な世界と不完備な世界も存在するので、可能世界の拡張とも考えられる。なお、 R 世界の間には三項関係が成立し、このような関係が連関含意の前件と後件の間に持つ意味的関連性を示すという事が明らかになるので、これについても詳しく考察を行っている。

第五章 終わりに—今後の研究課題

ここでは、以上の考察を通じて明らかになる問題点を明らかにすると同時に、今後の研究課題について述べる。

問題点 1 連関論理にとって基礎的概念となる「連関性」や「連関含意」などの基礎概念が充分明確にされていない。

体系 R では、 $A \rightarrow B$ が持つ連関性を前件 A と後件 B の間の共通命題変数で捉えているが、これ

だけでは連関性を定義するには不十分であることが明らかになる。なぜなら、体系 R では $A \rightarrow A \wedge (B \vee \sim B)$ と $(A \wedge \sim A) \vee B \rightarrow B$ のような連関性を持つと考えられるが定理として成立しない式が依然存在するからである。

問題点 2 自然演繹体系 FR では「使用」という概念により「含意の逆理」と呼ばれる命題の除去を意図するが、この概念だけでは不十分であることが明らかになる。

「使用」という観点から見た場合、 $A \wedge B \rightarrow A$ と $A \rightarrow (B \rightarrow A \wedge B)$ および $(A \rightarrow B) \rightarrow ((A \rightarrow C) \rightarrow (A \rightarrow B \wedge C))$ などの式は体系 FR の定理であるべきである。なぜなら、例えば、 $A \rightarrow (B \rightarrow A \wedge B)$ の場合、 $A \wedge B$ の推論には A と B が確実に「使用」されているからである。しかし、体系 FR では式 $A \wedge B \rightarrow A$ は定理として認めるが、 $A \rightarrow (B \rightarrow A \wedge B)$ に関しては、例えば、それから $A \rightarrow (B \rightarrow A)$ のような「含意の逆理」と呼ばれる式が導かれることで、定理として認めない。

問題点 3 体系 R の意味論 (Routley-Meyer 意味論) では矛盾な世界と不完備な世界の存在について適切な解釈が与えられていない。

矛盾な世界では A と $\sim A$ が同時に成立し、不完備な世界では A と $\sim A$ が同時に成立しない。Routley, R. はこの否定は完備な無矛盾な世界では古典的否定と同じ様に振る舞うので、彼の意味論では古典的否定と解釈されると主張する。しかし、Routley-Meyer 意味論で \sim が古典的否定と解釈されているとは考えにくい。それは完備な無矛盾な世界では古典的否定と同じ様に振る舞うとしても、意味論が矛盾な世界または不完備な世界を含むように拡張された場合その性質を保存できると言う保証がないからである。

問題点 4 連関論理の観点からすると定理と公理の中の $A \rightarrow (B \rightarrow C)$ の形式の式は大きな問題を孕むように思える。

このような形式の命題は連関論理の基本的立場からみると一般的に妥当な命題とは考えにくい。それは、 $A \rightarrow (B \rightarrow C)$ の形式の式に MP 規則を適用すると、A が成立すると、B から C が導かれる事になるが、それは一般的に妥当であるとは考えられない。なぜなら、A が成立するということが、B から C が導かれる事が関連あるとは考えに

くいからである。。ところが、 $A \rightarrow (B \rightarrow C)$ の形式の式を除去するということは、論理的に妥当な式および推論規則を極度に制限する事になる。これは論理体系の構築の観点からは望ましいことではない。

従って、これらの諸点に関して反省考察を行い欠点を明らかにし、それらを除去することが今後の課題の一つである。

更に、問題点 5 本研究では研究範囲をただ連関命題論理体系に限定していることから、述語連関論理へ研究を進めるのも今後の課題の一つである。

問題点 6 近年矛盾許容型論理 (Paraconsistent Logic) という「矛盾」を許容する論理の研究が盛んになっている。その中心は $A \wedge \sim A \rightarrow B$ を一般には成立しないように制限した体系である。

連関論理は矛盾許容型論理の一つの選択肢とも考えられていることから、矛盾許容型論理と連関論理との諸体系の関係を調べることも今後の課題と残されている。

主要参考文献

- Ackerman, W. [1956], *Begründung Einer Strengen Implikation*, *The Journal of Symbolic Logic*, Vol.21, No.2.
- Anderson, A. R. and Belnap, N. D. [1962], *Tautological Entailments*, *Philosophical Studies*, Vol.13, pp9-24.
- Anderson, A. R. and Belnap, N. D. [1975], *Entailment, the Logic of Relevance and Necessity*, *Princeton University Press*.
- Dunn, M. J. [1986], *Relevance logic and entailment*, *Handbook of Philosophical Logic*, Vol. III, pp117-224.
- Hughes, G. E. and Cresswell, M. J. [1968], *A New Introduction to Modal Logic*, *Routledge, New York*.
- Meyer, R. K. and Dunn, J. M. [1969], *E, R and γ* , *Journal of Symbolic Logic*, Vol.34, pp460-474.

ヴィクトリア期イギリスのエンジニアに関する一考察 ーイサンバード・キングダム・ブルネルを中心にー

米川 聡 (98M42335) 指導教官：中島秀人

大英帝国の全盛時代とされるヴィクトリア期，多数のエンジニアが，運河を掘り，イギリス全土に大鉄道網を張りめぐらせ，橋や道路を建設し，イギリスの発展に寄与した。この模様を取り扱った著作『ヴィクトリアン・エンジニアリング』において，著者L.T.C.ロルト(Rolt)は，代表的なエンジニアの「3巨頭」として，ロバート・スティーヴンソン(Robert Stephenson, 1803-59)，ジョーゼフ・ロック(Joseph Locke, 1805-60)，そしてイサンバード・キングダム・ブルネル(Isambard Kingdom Brunel, 1806-59)の3人を挙げている。しかし，ロルトは，彼らのようなエンジニアが，1860年代を境にして姿を消し，エンジニアリングの主役が「有名な個人」から「無名な集団」に移っていった理由については触れていない。

そこで，彼ら3人のエンジニアの中でも，鉄道や橋の建設のみならず船舶の建造も行ったイサンバード・ブルネルの業績の再検証を通して，彼らのようなエンジニアが姿を消した理由について考察する。

1806年，イサンバード・ブルネルは，自身も優れたエンジニアであったマーク・イサンバード・ブルネル(Marc Isambard Brunel, 1769-1849)の息子として生まれた。彼は，父マークの薦めで，ノルマンディのCollege of Caen，その後パリのLycee Henri-Quatreで主に数学を学んだ。そして最終的には，時計および科学機器の製作人ルイ・ブレゲ(Louis Breguet, 1747-1823)の徒弟として機械についての研鑽を積んだ。このようにイサンバードは，中等教育機関と徒弟制という互いに性格の異なった2つの制度のもとで教育をうけたエンジニアであった。中等教育機関で数学などの科学を，そして徒弟制のもとで機械に関する知識と技能を修得したイサンバードは，当時のエンジニアの中で少数派であった。

1822年，イサンバードは，ブレゲのもとでの修行を終えイギリスに帰国した。当時マークは，イギリスとフランスで橋やドックの建設を手がけていたため多忙であった。そこでイサンバードはマークとともに働きはじめることとなり，以後，1859年に死去するまでの間，数多くの鉄道，橋梁の建設工事，船舶の建造に携わった。

イサンバード・ブルネルの鉄道建設および橋梁の建設において，彼は常に見積の不正確さという問題に直面していた。また，彼の建造した3隻の船舶は，鉄製の船体およびスクリューが導入され，大西洋の横断に成功し，技術的な側面からは高い評価を受けていた。

しかし，この成功例とされるケースは，当時の文脈つまり社会的側面からすれば失敗であったと判断できる。さらに，イサンバード・ブルネルの場合だけでなく，スティーヴンソンやロックにも目を向けると，彼ら3人には，1860年以降におけるエンジニアの性質の変化の予兆を見ることができる。それは，①見積の不正確さ，②組織の問題，③エンジニアリングの専門分化の問題，に集約できる。さらに，大手請負人の台頭に影響を及ぼしたロックの後継者たちは，

1860年以降もイサンバード・ブルネルやスティーヴンソンのようなエンジニアのように姿を消すことなく、大手請負人に形を変えて活躍したのである。

すなわち、3巨頭の時代以降、エンジニアには、イサンバード・ブルネルのように鉄道システムに留まらず、船舶という別の巨大システムに転身する道があり、これとは別に、ロックのように鉄道技術の精緻化に進む道があった。しかし、イサンバード・ブルネル自身、船では失敗することになった。結局、当時のエンジニアに残されたのは、ロックの示した方向に従って、無名な集団を構成する無名のエンジニアの1人となることだったのである。

参考文献：

- ・L.T.C.ロルト『ヴィクトリアン・エンジニアリング―土木と機械の時代―』高島平吾訳(鹿島出版会、1989年)、163頁。
- ・L.T.C.ロルト『工作機械の歴史―職人の技からオートをメーションへ―』磯田浩訳(平凡社、1989年)。
- ・アルフレッド・D・チャンドラー Jr.『経営者の時代』鳥羽銀一郎／小林袈裟治訳(東洋経済新報社、1979年)。
- ・O.マイヤー／R. ポスト編『大量生産の社会史』小林達也訳(東洋経済新報社、1984年)。
- ・D.ハウンシュェル『アメリカン・システムから大量生産へ』和田他訳(名古屋大学出版会、1998年)。
- ・柏蔵康夫『エリートをつくり方―グランド・ゼコールの社会学―』(筑摩書房、1996年)。
- ・C.B.ディヴィス／K.E.ウィルバーン編著『鉄路17万マイルの興亡―鉄道からみた帝国主義―』原田勝正／多田博一訳(日本経済評論社、1996年)。
- ・サミュエル・スマイルズ『西国立志編』中村正直訳(講談社、1981年)。
- ・Derrick Beckett, Brunel's Britain (North Pomfret, 1980).
- ・Jonathan Falconer, What's left of Brunel (London, 1995).
- ・Samuel Smiles, Self-Help: with Illustrations of Character and Conduct(John Murray, 1858).
- ・Adrian Vaughan, Isambard Kingdom Brunel: Engineering Knight-errant(London, 1991).
- ・L.T.C.Rolt, Isambard Kingdom Brunel: A Biography (London, 1957).

『技術文化論叢』編集要項

1 発行趣旨

今日の科学・技術の発展は極めて急速であり、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呼んでいる。他方、技術開発を巡る国際的競争はますます激化しており、ここでも先進諸国間、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・方法論的あるいは広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。

4 発行回数

原則として年一回とする。

5 投稿資格

本学で研究・教育に携わるものとするが、編集委員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、修士論文・博士論文概要等とする。

8 原稿の提出時期および方法等については別に定める。

技術文化論叢

第4号

2001年4月1日発行

編集：技術文化論叢編集委員会

(庄司高太 中島秀人 水沢光 *藁谷敏晴 *:長)

発行：東京工業大学社会理工学研究科技術構造分析講座

FAX：03-5734-2844

**TITech Studies in Science, Technology
and Culture**

No.4

Tokyo Institute of Technology