

技術文化論叢

第 13 号 (2010 年)

東京工業大学技術構造分析講座

『技術文化論叢』第13号(2010年)

目次

<研究ノート>

| | |
|---|---|
| <i>Philosophiae Naturalis Principia Mathematica</i> 邦訳書の底本に関するノート 杉本剛..... | 1 |
|---|---|

| | |
|---------------------------------------|----|
| 科学と技術及び社会的活動—制度論的アプローチから 山崎正勝..... | 15 |
|---------------------------------------|----|

2009年度 博士・修士論文梗概

<修士論文梗概>

| | |
|---|----|
| 清末中国における近代的科学・技術導入に及ぼした明治日本の影響に関する歴史的 分析—天津の直隸工芸総局を例にして 徐恒..... | 29 |
|---|----|

| | |
|------------------------------|----|
| 矛盾許容型論理 PCL1 の研究 大森仁..... | 34 |
|------------------------------|----|

<博士論文梗概>

| | |
|---|----|
| Exploration, Marketing, and Politics of Natural Gas in Bangladesh, 1971-2008 Md. Mamunur Rashid..... | 44 |
|---|----|

| | |
|--|----|
| ヨハン・ベルヌーイの力学研究—18世紀力学史における位置付けと再評価 野澤聡..... | 56 |
|--|----|

研究ノート

***Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* 邦訳書の底本に関するノート**

A Note on the Original Texts for the Japanese Translations of *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*

杉本 剛*

SUGIMOTO, Takeshi

1. いとぐち

Isaac Newton (1642-1727) の *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (これ以降 *Principia* とよぶ) では、様式が幾何学書になっているだけでなく、核心部である万有引力の法則の導出は、幾何学的手法に依っている。ゆえに、図版の品質の確保は必須である。*Principia* は Newton の生前に都合3回刊行されており、いずれも数学に秀でた者が図版の制作を含めて編集に携わっている。

Principia 邦訳書の底本諸版について、幾つかの大きな構成要素 (Newton の著者前書き・Halley の Ode・Cotes の編者前書き) および図版に着目すると、訳者の自己申告以上の事実が垣間見えてくる。本稿ではそれを集約する。

Principia の邦訳書としては、岡邦雄 (1890-1971) のプリンシピア (1930)^{1,2}、河辺六男 (1918-2000) のニュートン (1971・1979)^{3,4} および中野猿人 (1908-2005) によるプリンシピア (1977)⁵ がある。市場および岡による部分訳 (1963)⁶ は、第 I 書の定義 I-VIII, 法則 I-III, 系 I-IV, 校註および第 III 書しか取り上げておらず、本稿での取り扱い対象とはしない。

2. *Principia* 原典の解題

Principia 原典は、第 I 書-第 III 書からなるが、いずれの版も 1 巻本である。

2.1 Halley 編による初版 (1687)⁷

初版は、Edmond Halley (1656-1742) による編集・発行で、1687 年に出版された。Halley は、Newton の業績を讃える Ode (頌賦) を初版の冒頭に寄せている。

図版は、経費節約と読者へのサービスを兼ねて、木版画として制作され本文に埋め込まれている⁸。ただし、1680 年の大彗星の図は銅版画で、折り込み式である⁹。

図 1 と図 2 に示すように、扉のデザインには 2 種類ある。図 2 の方は、大陸での販売を目指してつくられたと考えられている。発行部数は、図 1 の版が 250-350 部で、図 2 の版が 50 部と見積もられている¹⁰。

* 神奈川大学 Kanagawa University

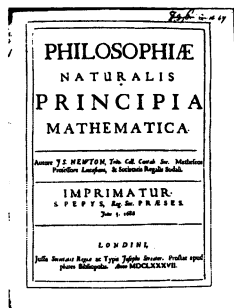


図1. 初版扉
(国内向け)

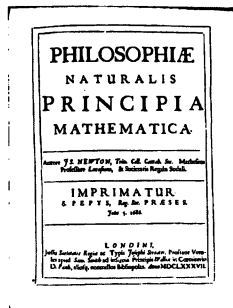


図2. 初版扉
(大陸向け)

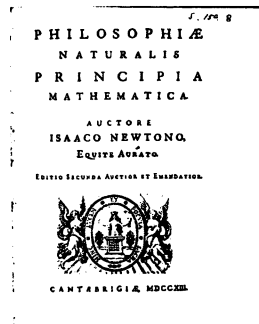


図3. 第2版扉

2.2 Cotes 編による第2版 (1713)¹¹

第2版は、近代的な出版社としての再出発を期した Cambridge University Press の Richard Bentley (1662-1742) が発行人となり、若く優秀なブルーム記念天文学および実験哲学教授 Roger Cotes (1682-1716) が編集し、1713年に出版された¹²。残された書簡の文面から、発行部数は750部であったと考えられている¹³。

若い Cotes のやる気にほだされて、第2版では単なる初版の誤りの修正だけでなく、大幅な書き換えも行われた。とくに第III書に付け加えられた一般校註の存在は重要である。

また、大陸の Leibniz との間で微分積分学の先取権争いが激化する中、理論というものに対する Newton の姿勢の説明・Leibniz が申し立てている異議の内容の吟味・Descartes の説いた渦巻き太陽系仮説の検証を目的として Cotes が長文の編者前書きを寄せている¹⁴。

その一方で Bentley は、Newton および著者の Halley に断ることなく、Halley の Ode を勝手に改竄している¹⁵。

図3は、第2版の扉のデザインである。エンブレムは、当時の Cambridge University Press 刊行の本に好んで使われた¹⁶。

2.3 Pemberton 編による第3版 (1726)¹⁷

第2版が出版された翌1714年、アムステルダムでその海賊版が発行された。ページ割は同じだが、活字ひろいから図版起こしに至るまで新たに作り直された手の込んだものである¹⁸。さらに、1723年にもアムステルダムで、海賊版が出版された。今度は、ニュートン自身が書いた流率についての解説が付録に付けられていた¹⁹。いずれにせよ、*Principia* の重要性が大陸でも認識されたことが、海賊版の発行につながっている。

こうした情勢の中でつくられたのが、第3版であった。編集の任にあたったのは、大陸で医学博士の学位を取得してきた Henry Pemberton (1694-1771) である。Pemberton は、数学にも精通していたわけである。

その当時すでに 80 歳を超えていた Newton は、もはや大幅な改訂には踏み込まなかった。Pemberton も基本的には字句の統一(大文字小文字の使い分け・句読点の使い分けなど)に気を配って編集した²⁰。

Halley の Ode は、ほぼ原状どおりに復元されたが、初版とは若干の相違があることは注意を要する²¹。

1726 年に発行された第3版には、3種類ある：普及版の発行部数は 1000 部である；大きめの豪華版は 200 部つくられた；超豪華な Royal Folio の発行部数は 50 部である²²。図4に扉のデザインを示す。

不朽の大著の新訂を終えたあくる1727年の2月に、Newton はその生涯を閉じた。

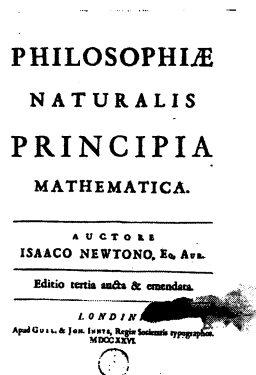


図4. 第3版扉

3. 18世紀の *Principia* 校註本の解題

3.1 Jesuits 版 (1739, 40, 42)²³

これは *Principia* の原典に、Apollonius of Perga の円錐曲線論から Euler による微分積分を用いて記述された力学 (1736) に至るまでの周辺知識をちりばめて、つくられた校註本である。編者の Thomas Le Seur (1703-1770) と François Jacquier (1711-1788) は、Minim 派の Friar であるが、この校註本は Jesuits の名前を冠して呼ばれる。

図5に本文を例示する。あまりにも多くの情報で補強されたため、3巻本になっている。図を本文中に埋め込む読者サービスを忘れていない。図版には原典第3版とは異同がある。

河辺訳 (1971・1979) が依拠した底本は、Jesuits 版の1760年刊行本である。この版は、1739年版にはあった Halley の Ode・目次・正誤表を欠いている²⁴。

その後 Jesuits 版は、1780-85 年にかけてプラハ版 2巻本が、19世紀にはケンブリッジ大学出身の John Martin Frederick Wright (1793?-?) 編集によるグラスゴー版 4巻本が 1822年と 1833年に出版されている²⁵。

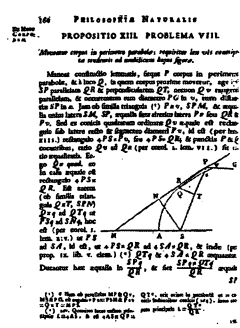


図5. Jesuits 版
下の小文字が校註

3.2 Thorp の英訳書 (1777) ²⁶

Robert Thorp (1736-1812) は、ケンブリッジで *Principia* を教えていた。初めは *Principia* すべてを訳す予定だったが、結局のところ第 I 書のみを英訳に終わった。しかしながら、その内容を一読すれば、この本が Jesuits 版相当の英語校註本を目指していることがわかる。本文中でのアルファベット順の註の付け方および脚内での校註への全巻通し番号付けは、Jesuits 版と同一の表記法である。

Cotes の編者前書きから、Bentley への言及がある最後の段落が削除されている ²⁷。Halley の Ode は、ラテン語のまま掲載されている。

図は銅版画で制作されているため本文から切り離され、所々に折り込まれたプレートに集められている。また、*Principia* 原典にはない図が多数制作されて、元来の付図とともに提供されている。ただし、不正確な図も多い。この英訳書は 1802 年に再版されている。

4. Motte 英訳書の変遷

4.1 Motte 英訳書初版 (1729) ²⁸

Andrew Motte (1696-1734) は、engraver が定職である。市民大学である Gresham College の幾何学の講義で力学を教えた経験があり、その講義録を、London の Fleet 街で出版業を営む兄の Benjamin Motte のもとで出版している ²⁹。

Motte が *Principia* の英訳を手掛けた経緯ははっきりしない。Gresham College の天文学教授であった John Machin (1680-1751) の勧めではないかと推測されている ³⁰。Motte の英訳には *Principia* 原典の初版や第 2 版の表現の痕跡も見られると言われており、英訳を試みたのは第 3 版刊行以前のこらし ³¹。

Motte の英訳は 1729 年に、Benjamin Motte から 2 巻本として出版された。第 1 巻は第 I 書、第 2 巻は第 II 書・第 III 書・追加資料からなる。その特徴は次のとおり：

- Halley の Ode は、ほんの数行分が抜粋され、換骨奪胎されて Motte の描いた銅版画の上に書き込まれているだけで、また被害にあっている (図 6)。
- 著者前書きのうち、第 2 版前書きと第 3 版前書きがひとまとまりにされている。さらに、第 3 版前書きにあるはずの Pemberton の名前が消去されている ³²。
- Cotes の編者前書きにも手が加えられており、Bentley への言及がある最後の段落が欠落している ³³。
- 図版はすべて Motte が銅版画で描き起こしている。



図 6. Halley の詩の断片

そのため本文から切り離され、所々に折り込まれたプレートに集められている。原典にある誤りが訂正されている箇所もみられる。しかしながら、図版が本文から切り離されたことが、後世の英訳書に見られる混乱の源であった。

- John Machin による “The Laws of the Moon’s Motion” が第 2 巻の最後に追加された。

4.2 Davis 編による改訂再版 (1803) ³⁴

Motte の英訳書は 18 世紀の終わりには貴重品となり、再版を望む声が多くなっていったらしい。William Davis (1771-1807) は、Motte の英訳を H.D. Symonds から再版させる。「数学者にして数学協会および哲学協会会員」の Davis の生業は、書籍商である。“Carefully Revised and Corrected” と扉にあるが、主として句読点に手が加えられていて、これが後世の英訳本に混乱を与えている。追加の文書が多く、3 巻本となった。岡訳 (1930) の底本は本書である。1819 年に再刊されている。特徴は次のとおり：

- Halley の Ode の断片の残る Motte の銅版画が全面削除された。
- グリニッジ天文台にある Newton の胸像をもとに起こした肖像画を挿入した。
- Davis の手になる著者 Newton の生涯を、Newton の著者前書きおよび Cotes の編者前書きの後、*Principia* 第 I 書の前に追加した。第 I 書の終わりまでが第 1 巻で、第 II 書と第 III 書が第 2 巻を構成している。
- 付図は銅版画で制作され、所々に折り込まれたプレートに集められている。
- Newton の “System of the World” の英訳が第 3 巻の先頭に追加された。これは *Principia* 第 III 書のもととなったルーカス記念教授講義のラテン語原稿を英訳したもので、訳者名なしのままで F. Fayram から 1728 年に *A Treatise of the System of the World* と題して出版されていた ³⁵。
- William Emerson (1701-1782) の著作 *A Short Comment on Sir Isaac Newton’s Principia; to which is added, A Defence of Sir Isaac against the objections that have been made to several parts of his works* (1770) ³⁶ を第 3 巻の “System of the World” の次に挿入した。
- John Machin の “The Laws of the Moon’s Motion” は第 3 巻の最後に再掲されている。Machin の肩書の Davis による書き方も混乱の元凶となった。すなわち “Astron., Prof. at Gresh., and Sec. to the Roy. Soc.” とある。

4.3 Chittenden 編による米国版 (1846) ³⁷

Columbia University 出身の Nathaniel W. Chittenden (1816-1885) が、「ニューヨ

一の師範学校の教員は *Principia* を読むべし」として作ったのが Daniel Adee 刊の米国版である。1848年および1850年に再刊されている³⁸。

本書の構成は、Newton の肖像（グリニッジの胸像）から始まり、Chittenden による師範学校教員への献辞・米国版への序文・Newton 伝へと続く。本文は *Principia* 第I-III書と“System of the World”のみの1巻本である。

第III書の命題XXXIII問題XIVの校註を見ると“Mr. Machin, Astron., Prof. Gresh.”とあり、DavisによるMotte訳の改訂再版（1803）が底本だと知れる。

HalleyのOdeは、最後の1行“Nec fas est propius Mortali attingere Divos.”がHalleyの名と共に、Newton伝のタイトル近傍に飾りとして復活した。しかしながら、Newtonの著者前書きとCotesによる編者前書きは全面的に削除された。

図版はすべて描き起こされ、再び本文中に埋め込まれた。図番号は付されていない。付図の誤りは、描き直されるたびに増加する。

4.4 Motte-Cajori 版（1934）³⁹

Florian Cajori（1859-1930）は、独語圏のスイスで生まれ、ティーンエイジャーのときに米国に移り住んだ。数学家として知られる。

いわゆるMotte-Cajori版は、Cajoriの死後に、University of California Pressから出版された。冒頭で、U.C. Berklyの天文学者であったRussell Tracy Crawford（1876-1958）が、Pressに呼ばれて編集にかかわったことについて述べている。

本文に残る句読点の使い方から、Chittendenの米国版に手を加えることで、改訂作業が進められたことがうかがえる。

巻末に収められたCajoriのノートから、18世紀の数学表記を現代的なものに改めるつもりであったことがわかる。ただし、第I書命題LII問題XXXIVの校註文末で“duplicate”を“square root”へと書き間違えたのはだれだろうか。

それと同時に、米国版に欠けているNewtonによる著者前書き・Cotesによる編者前書き・HalleyのOdeを英語で復元するつもりだったのだろう。しかし、原典から英訳するだけのラテン語の知識はなかったようだ。Cajoriのノートには、Thorpの英訳書（1777）と独訳書（1872）⁴⁰とを参照したことが書かれている。Newtonの著者前書きについては、Thorp訳は正確である。Cotesの編者前書きについては、Thorp訳では一部が欠落しているため、独訳書から英訳して補ったのだろう。Thorp訳ではHalleyのOdeは第3版のラテン語のままである。また独訳書にはHalleyのOdeが欠落している。したがって、Cajoriの英訳は存在しなかったろう。U.C.のラテン語教授Leon J. Richardson（1868-1964）が、HalleyのOdeを初版から英訳している。

生前Cajoriが図版の手配まで済ませていたとは考えにくい。図版の制作を監

修正したのは Crawford であろう。Thorp 訳の付図および Chittenden の米国版の両方を参考に付図が描き起こされたことがうかがえる。点の所在，線の曲直，線分の長さ，平行度などについて，英訳書中で最も誤りが目立つ。

特にひどい誤りを二つ挙げる。

第 I 書命題 VII 問題 II については，Chittenden 版の図を写し誤り，天体の軌道上の位置 Q を軌道から外す過ちを犯している (図 7)。ちなみに Thorp 版の付図は半円なので，これも間違っている。周期解なので真円が正しい。

第 I 書命題 LII 問題 XXXIV の二つ目の図については，Chittenden 版の図が正しいにもかかわらず，Thorp 版の縦置きを図を，しかも左右反転させて引き写している (図 8)。

この図は力学系の相図であって，Newton の描き方が正しい (図 9)。Newton は左から右へのひと振り，またはその逆を 1 回の振動とよんでいるからである。現代では，1 往復で 1 回の振動と考えるから，そのばあいには半円ではなく，真円にすべきところである。

こうした図の誤りは，作図の仕方 (証明の方針) または背景知識を理解していないことにより生じる。Principia を理解せずに編集しているのである^{41,42}。そして，多くの図の誤りが，新しい邦訳書に引き継がれた。

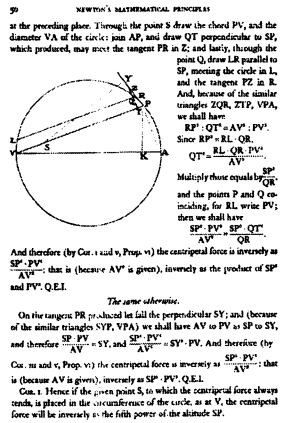


図 7. 命題 VII 問題 II (右は細部)

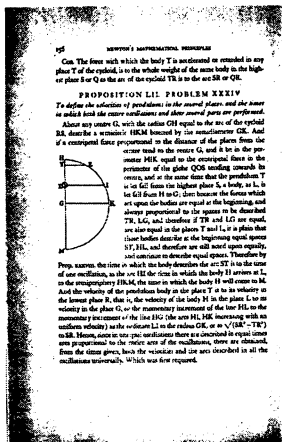


図 8. Motte-Cajori 版の命題 LII

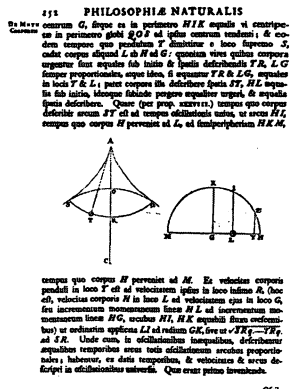


図 9. 原典の命題 LII

5. 邦訳書の解題

5.1 岡訳 (1930)

底本として、Motte 訳の改訂再版 (1803) を使用している。Newton の著者前書きと本文のみを訳している。人の手の入り方が少ない古い英訳書を底本としているので、図版についての誤りは最も少ない邦訳書である。春秋社の世界大思想全集第6巻として発行された初版は1巻本だが、1933年に再版された春秋文庫版は上・下の2巻本である。内容は初版と相違ない。

5.2 河辺訳 (1971・1979)

原典よりの翻訳と言われているが、正確には Jesuits 版 (1760) を底本としている。したがって、Halley の Ode が欠落している。これ以外にラテン語原典の初版 (1687) の復刻版と Motte-Cajori 版英訳書 (1934) を参照したと河辺は述べている。

河辺は Newton の著者前書きと本文のほかに Halley の Ode を訳出しているが、その手元には原典初版の Ode とその英訳しかなかったはずである。原典第3版 (1726) でほぼ原状回復した Halley の Ode であるが、初版の Ode とは言葉遣いに若干の相違がある。その点に注意して邦訳を読むと、初版からの訳であることが確認できる。

紙面の都合で Cotes の編者前書きを割愛したと河辺は述べている。

中野 (1977) は 686 頁の注[178]で、Motte-Cajori 版 (1934) が第 I 書命題 LII 問題 XXXIV の校註文末で原典に平方とある個所を square root と書き間違えていること指摘し、英訳書を底本とした邦訳書にその誤りが繰り返されていると述べ、その例として河辺 (1971) の 198 頁を挙げている。河辺 (1971) をよく読んでみれば、全文が英訳からの重訳というわけではないことがわかるが、英訳から訳出した部分もあるのは中野の指摘どおりである。少なくとも英訳書を辞書がわりには使ったのだろう。なお、この命題の誤訳は、河辺 (1979) では訂正されている。

それよりも大きな問題は、図版の制作に Jesuits 版 (1760) を使用せず、Motte-Cajori 版 (1934) に全面依拠していることである。したがって、図7と図8に示した誤りは、河辺 (1971・1979) に引き継がれている。

5.3 中野訳 (1977)

中野の訳業以前に出版された *Principia* 邦訳諸版の位置づけは、世界の名著のひとつであった。そうした全集の読者にとって、*Principia* を読みこなすには難がある。中野の出版の意図は、専門家向けの単行本として *Principia* を紹介する

ことであつたろう。したがって、現代の自然科学の知識で解釈した校註もふんだんにある。

底本は Motte-Cajori 版英訳書 (1934) で、ラテン語原典初版 (1687) の復刻版を参照したと述べている。Newton の著者前書きと本文のみを訳出している。

底本のテキストと図版を、科学者としてよく吟味して翻訳・編集しているので、底本の品質に比べて良質の訳業に仕上がっている。図の誤りは河辺より少ない。図 7 の誤りは修正されている。図 8 と 9 に示した相違については、振り子の図の隣に縦置き相図を配置している。Newton が原典第 3 版で相図を縦に描き直したと思ったのだろうか。

6. むすび

Principia 邦訳諸版と、それらをとりにまく *Principia* 原典およびその派生版との相互関係を系図としてまとめると図 10 のようになる。

残念ながら、ラテン語原典第 3 版 (1726) そのものから作られた邦訳書は存在しない。したがって、一部のテキストや少なからぬ図版は原典と異なる。Cotes の編者前書きは本邦未公開で、解題をつくる作業が要る。

現在のところ最も高品質の *Principia* 現代語訳は Cohen らによる英訳書 (1999) である。しかしながら、この本はカリフォルニア大学出版局の発行であったがゆえ、出版局が保有していた Motte-Cajori 版の図版が広範囲に流用されている。そして、図 7 の誤りは生き残った⁴³。

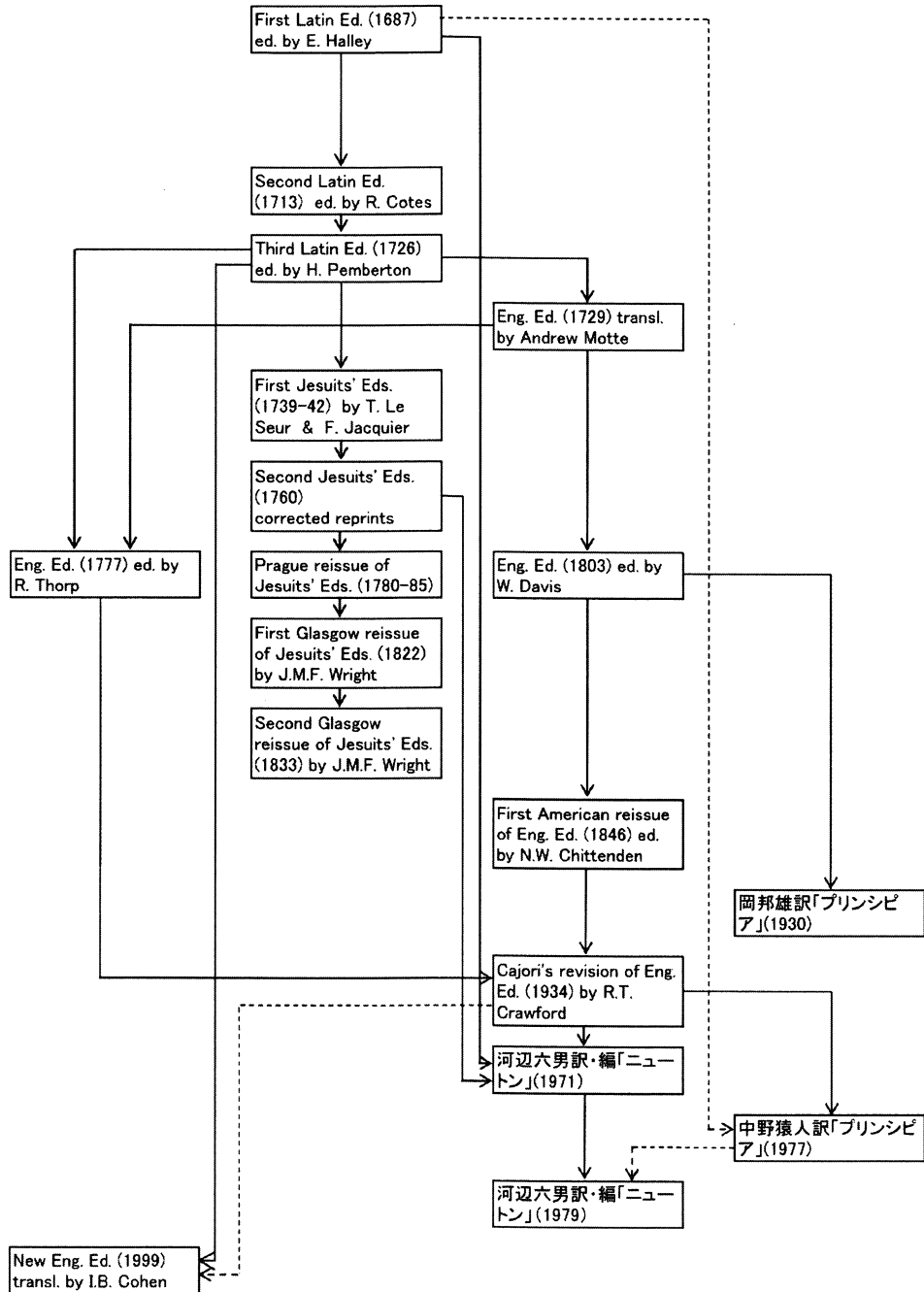


図 10. プリンキピア諸版の参照関係：実線(翻訳，改訂)，破線(参考)

註

1. 岡邦雄訳『プリンシピア』, 世界大思想全集, 第 6 卷, 春秋社 (1930), pp.491.
2. 岡邦雄訳『プリンシピア』, 全 2 卷, 春秋文庫 (1933), pp.206 + pp.284.
3. 河辺六男訳『ニュートン』, 世界の名著, 第 26 卷, 中央公論社 (1971), pp.574.
4. 河辺六男訳『ニュートン』, 世界の名著, 第 26 卷, 中央公論社 (1979), pp.574.
5. 中野猿人訳『プリンシピア』, 講談社 (1977), pp.898.
6. 市場泰男・岡邦雄訳「プリンシピア」, 世界大思想全集, 第 32 卷・社会・宗教・科学思想篇, 河出書房新社 (1963), pp.191-318 + pp.322-324 ; 抱き合わせ収録: ロバート・ポイル著・大沼正則訳「懐疑的な科学者」, pp.1-189 + pp.319-321.
7. I. Newton, *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, First Edition, Royal Society (1687), pp.511.
8. たとえば S.P. Rigaud, *Historical Essay on the First Publication of Sir Isaac Newton's "Principia,"* Oxford University Press (1838)の Appendix, p.35-39 にある Halley から Newton に宛てた 1686 年 6 月 29 日付手紙に

I have sometimes had thoughts of having cutts [sic] neatly done in Wood, so as to stand in the page, with the demonstrations, it will be more convenient, and not much more charge.

とある。Newton の返事は「Halley に決定は任せる」であった。

9. J. Edleston ed., *Correspondence of Sir Isaac Newton and Professor Cotes*, Cambridge University Press (1850), p.144 の Cotes から Newton 宛て 1712 年 11 月 1 日付手紙に, “I know not whether You have got the Copper-plate of the Comet yet done” とある。
10. A. Koyré and I.B. Cohen eds., *Isaac Newton's "Principia," the third edition with variant readings*, Two Vols., Harvard University Press (1972)の第 2 卷の 852 頁に記載がある。ただし A. Cook, *Edmond Halley: Charting the Heavens and the Seas*, Clarendon Press (1998)の 155 頁には, 最近では 600-700 と見積もられているとある。
11. I. Newton, *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, Second Edition, Cambridge University Press (1713), pp.492.
12. M. Black, *A Short History of Cambridge University Press*, Cambridge University Press (2000), p.16-20 に Bentley の果たした役割についての記載がある。
13. 註 10 の Koyré and Cohen (1972) 第 2 卷の 853 頁に記載がある。根拠は, 註 9

で引用した Cotes の一文の直後に, “The Printer tells me there will be 750 requisite” とあるからである.

14. 註9の Edleston (1850) の148頁にある Bentley から Cotes 宛て1713年5月5日付手紙に “I have S^r Isaac Leave to remind you of what You and I were talking of, An alphabetical Index, & a Preface in your own name” とある. Cotes はいったん断るのだが, 150頁にある Bentley から Cotes 宛て1713年5月12日付手紙のとおり決着する. すなわち

but You must not press it further, but go about it your self. For y^e subject of y^e Preface, you know it must be to give an account, first of y^e work it self, 2^{dly} of y^e improvements of y^e New Edition; & then you have S^r. Isaac’s consent to add what you think proper about y^e controversy of y^e first Invention.

そして, 出来上がったら Newton と Bentley が校閲することを伝えている. また続けて, Newton と Bentley の一致した意見として Leibniz の名を出さないこと, 責めの言葉も使わないことを条件とした.

15. 第2版が出版されてすぐ, Bentley による Halley の Ode の改ざんに気がついた Keill の手紙などを引用しつつ, この事件をはじめ記録にとどめたのは註8の Rigaud (1838)である (86-87頁). なお註10の Cook (1998)によれば (170頁), Bentley の怠慢により Halley は第2版を所有することはなかった.
16. 註12の Black (2000)の19頁を参照のこと.
17. I. Newton, *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, Third Edition, Royal Society (1726), pp.536.
18. I.B. Cohen, *Introduction to Newton’s “Principia,”* Harvard University Press (1978) の252-264頁を参照のこと.
19. 註8の Rigaud (1838)の106頁を参照のこと.
20. 註18の Cohen (1978)の270-275頁を参照のこと.
21. 註8の Rigaud (1838)巻末 Appendix の57-59頁および註10の Koyré and Cohen (1972) 第1巻の12-14頁を参照のこと.
22. 註10の Koyré and Cohen (1972) 第2巻の854頁に記載がある.
23. T. Le Seur & F. Jacquier eds., *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* Vol. I (1739), pp.547; Vol. II (1740), pp.423; Vol. III (1942), pp.702. 第3巻には, 1724に Académie des Sciences へ投稿された Daniel Bernouilli, Colin Maclaurin および Leonhard Euler の重力による潮汐効果についての論文が掲載されている.
24. E.B. Hinckley, *A Descriptive Catalogue of the Grace K. Babson Collection of the*

Philosophiae Naturalis Principia Mathematica 邦訳書の底本に関するノート

- Works of Sir Isaac Newton and the Material relating to him in the Babson Institute Library*, Herbert Reihner (1950)の 19 頁を参照のこと。
25. 註 24 の Hinckley (1950)の 19-21 頁を参照のこと。
26. R. Thorp ed., *Mathematical Principles of Natural Philosophy*, Vol. I, T. Cadell (1777), pp.360 + 22 plates.
27. Cohen による註 26 のファクシミリ版 (Dawsons of Pall Mall, 1969) の序文で、Cohen は Thorp の訳は明らかに Motte の英訳書 (1729) に基づいていると書いている (iv)。したがって、Cotes の編者前書きの欠落部分が二つの英訳書で同一であることは、このことの証左であり、Thorp が意図したことではない。
28. A. Motte transl., *The mathematical principles of natural philosophy*, Two Vols., Benjamin Motte (1729), pp.320+pp.393.
29. I.B. Cohen, “Pemberton’s Translation of Newton’s Principia, With Notes on Motte’s Translation,” *Isis* 54, no. 3 (1963), pp.319-351.
30. Ditto.
31. Ditto.
32. Ditto.
33. Cotes は前書きの最後の段落で Richard Bentley を持ち上げている。これは第 2 版が Cambridge University Press から出版されているのだから、その責任者を讃えるのはある意味当然である。この部分を Motte が削除した理由はわからない。
34. A. Motte transl., *The mathematical principles of natural philosophy*, Three Vols., H.D. Symonds (1803), pp.211+pp.321+pp.231.
35. 註 24 の Hinckley (1950)の 14 頁を参照のこと。
36. 扉にあるとおりに記せば、W. Emerson, *A Short Comment on Sir I. Newton’s Principia Containing Notes upon Some Difficult Places of that Excellent Book*, J. Nourse (1770), pp.157 + p.1(errata) + 5 plates。Defence の部分は、*Principia* と Optics と Chronology についてである。
37. A. Motte transl., *The Principia*, Daniel Adee (1846), pp.581.
38. 註 24 の Hinckley (1950)の 16-17 頁などを参照のこと。
39. A. Motte transl., *Sir Isaac Newton’s Mathematical Principles of Natural Philosophy and his System of the World*, University of California Press (1934), pp.680.
40. J.P. Wolfers ed., *Sir Isaac Newton’s Mathematische Principien der Naturlehre*, Verlag von Robert Oppenheim (1872), pp.666。幾度か復刻されている。本稿の著者の手元には K.F. Koehler Verlag (1932)刊がある。

41. J.A. Lohne, "The Increasing Corruption of Newton's Diagrams," *History of Science* 6 (1967), pp.69-89. これは、ニュートンの原典付図が、原理を理解しない者の手によって、いかにゆがめられていくかを、様々な分野の図面の比較から論じた論文である。
42. J.B. Brackenridge, "The defective diagram as an analytical device in Newton's *Principia*," in M.J. Oster and P.L. Farber eds., *Religion, Science, and Worldview: Essays in Honor of Richard S. Westfall*, Cambridge University Press (1985), pp.61-94. これは、*Principia* 第I書命題Xと命題XIの付図に限定して、*Principia* 各国語訳まで渉猟して比較検討した論文である。Newton 自身、初版と第2版では、これら二つの命題について同一の図を使いまわし、混乱を引き起こしていた。なお、Brackenridge の結論は傾聴に値する。

... Perhaps the most that can be claimed is that when one finds the details of the diagrams correct, then it is possible that the other elements of the text are also carefully done. But when the diagram is faulty, then there may or may not be trouble elsewhere.

43. I.B. Cohen ed. and I.B. Cohen, A. Whitman and J. Budenz trans., *The "Principia"*, University of California Press (1999), pp.996. 図については455頁を参照のこと。

科学と技術及び社会的活動：制度論的アプローチから*

Science and its Bases: An Institutional Approach to History of Science

山崎 正勝**

YAMAZAKI, Masakatsu

概要

科学史の従来研究成果をもとに、科学と技術及び経済活動との相関関係の議論を出発点にして、冷戦期アメリカと1980年代以降の日本の科学政策を分析し、それらの議論を基礎にして、科学、技術、経済発展の数学的モデルが提唱されている。

1. はじめに：科学の社会的基盤と制度的アプローチ

科学研究活動はどのような社会的基盤の上に成立するのか、あるいはそれは技術開発や経済活動などの他の一般の社会的活動とどのような相互関係にあるのかという問題は、現在でもその答えに研究者の中で一致した見解があるわけではないものの、1930年代に科学史という学問が始まった当初から、科学史研究の基本的なテーマの一つであった。例えば、近代科学がなぜ17世紀の西欧で誕生したのかという問いに対して、旧ソ連のボリス・ゲッセンは、マルクス主義の歴史観の立場から、天才が科学を作ったという歴史観を強く批判しながら、資本主義経済の進展によるさまざまな技術的課題の出現と、その解決を、近代科学、とりわけニュートン力学の形成の背景と理解した(ゲッセン [1])。また、アメリカの社会学者、ロバート・マートンは、プロテスタント的勤勉主義が資本主義を形成したと見たドイツの歴史家、マックス・ウェーバーの歴史理論を基礎に、プロテスタントの信仰、とりわけ神が創造した摂理を、自然の研究を通じて理解するという内的な動機が、科学研究を促したと論じた(Merton [2])。また、これとはちょうど反対の問いとして、なぜ、西欧よりもいくつかの面で技術的に進んでいた中国で、近代科学が誕生しなかったのかという問題がある。この問いは、それを最初に提起したイギリスの生化学者で科学史家のジョセフ・ニーダムのちなんで、「ニーダム問題(難題)」と呼ばれている(ニーダム [3])。中国では、資本主義成立は、西欧に比べて、大幅に遅れたので、近代科学の成立は資本主義的経済活動のはじまりと何らかの関係があるのかもしれない。

* 本稿は、文部科学省21世紀COEプログラム「インスティテューショナル技術経営学」の最終報告書(2009年3月)に掲載されたものである。

** 東京工業大学名誉教授

Index Terms—history of science, cold war science, Japanese science policy since 1980, and mathematical model of development of science, technology, and economy

もう一つの一般的なテーゼは、イギリスの科学史家ステファン・メイソンが通史的な著作の中で主張したもので、近代科学は、それまで別々に存在していた学者的伝統と職人的伝統が17世紀の西欧で接近、融合することによって誕生したというものである(メイソン [4])。メイソンのテーゼは、学者と職人の間の社会的・階級的な障壁が高かった中国で、近代科学が生まれなかったことの説明にも通じるし、日本の明治初期の科学や技術が士族出身者で占められていたものの、下級の士族が、ほとんど職人と同じ仕事と感情を共有していたために、近代科学と工学の導入に何の抵抗も感じなかった理由をも暗示している。

しかし、細かく見ていくと、それだけでは片付かない多くの問題がかえって浮き彫りになる。そのこともあって、科学に対する社会的な要求や期待と、科学活動を結びつけるものとして、研究のための諸制度に注目する研究が、1970年代ころに出始めた(例えば、カードウェル [5])。イギリスの王立研究所やキャベンディッシュ研究所、ドイツの物理工学研究所などの研究機関の役割が注目を集めた。これは科学史の制度史的なアプローチと称されている。日本における理化学研究所は、研究所が科学活動の成功に寄与したよい例とされる。一般に、先進的な研究成果が出たところでは、とりわけ19世紀末以降であれば、たいいていの場合、そのような制度的な基盤があることが多いので、制度史的なアプローチには、一定の妥当性がある。しかし、制度が整えられれば先進的な成果が生まれるかといえば、必ずしもそうではない。ノーベル賞級の成果を目指した韓国の韓国科学技術研究所(KAIST)や、インドへのマサチューセッツ工科大学型の教育を目指したインド工科大学(IITs)は、少なくとも初期には、「失敗」とされた(Kim and Leslie [6]) (Leslie and Kargon [7]) (市川・山崎 [8])。したがって、科学的成果が生まれるためには、制度以外の何がしかの要素、例えば、「自由な研究環境」を育むような組織運営などが必要なのである。

以下では、科学、とりわけ基礎科学に注目し、二つの違った制度の下でのその展開を振り返る。2では冷戦期の米合衆国の目的研究と基礎研究の共生問題を分析し、ついで3では現代日本の基礎研究問題を検討する。最後に、科学研究の定量的なモデルを提案し、経済発展への科学研究の役割を議論する。

2. 目的研究と基礎研究の共生のメカニズム：冷戦期における米国の軍と科学界

冷戦は科学的探究が特異な変化をとげた時代だった(Yamazaki and Bektas [9])。米合衆国とソ連は、大規模な資金投資を軍事的な目的のために行い、軍と科学の間に密接な関係を築き上げた。最近になって公開された冷戦期の膨大な資料と、この約20年間に行われた多くの研究は、軍事資金の決定的な役割を照らし出し、「冷戦科学」という言葉を生みだした(Wang [10])。

冷戦の時期に科学と軍、それに関係するグループと団体の間に形成された関係は、共生の一種である。科学界と軍は、相互に依存するようになった。研究資金を必要とした科学者たちは、政府資金を受け入れ、その見返りに軍に有用な研究を行った。軍は研究を使って、新兵器の体系の開発と管理を行った。そのため、米国の科学史家たちは、冷戦は、科学者にも軍にも利益をもたらした

と主張している。この意味で、この関係は基本的には相利的であると考えられる。

米合衆国では、第二次世界大戦の前には、農業の分野を除いて、連邦政府から科学界へは目立った資金援助はなかった。戦争開始後ほどなくして、1941年6月にフランクリン・ローズベルト大統領は、戦争に科学を動員するために科学研究開発局(the Office of Scientific Research and Development (OSRD))を創設した。戦争終了時まで、OSRDは、原子爆弾、レーダー、近接信管、ペニシリンなどの研究開発に成功した。

OSRDは事実上、無制限の資金と資源を与えられて、ヴァネヴァー・ブッシュによって率いられた。彼は、マサチューセッツ工科大学(MIT)の元工学部長で、当時はワシントンにあるカーネギー研究所の会長だった。この組織は、大統領に対してだけ報告義務があった。OSRDは、その効率的な資金援助体制を通じて、個々の科学者や技術者、大学や研究機関を戦争目的に組織していった(Roland [11])。

OSRDは臨時の戦時組織であったため、1947年には廃止されることになった。OSRDは戦争に対して科学が非常に生産的で有用であることを証明し、また、科学と軍との間の強い結びつきを作り出すことに役立った。戦争終結時には、この協力関係をより持続性のあるものにしようという強い期待があった。ヴァネヴァー・ブッシュは、平時における類似の中央集約的で強力な機関の提唱者だった。トルーマン大統領への彼の有名な1945年の報告書、『科学—果てしないフロンティア』の中で、ブッシュは、科学と工業と軍の間の協力関係を管理監督する「全米研究財団」の創設を提案した(Bush [12])。彼が心に抱いていたのは、全ての戦後の科学活動を統括する「科学省」に近いものであった。しかし、ブッシュにとって不幸なことに、国防総省(DOD)や、マンハッタン管区の後継組織である原子力委員会(AEC)などが素早くそれぞれの研究領域を確保し、資金供給の責任を分担してしまった。後には航空宇宙局(NASA)や国立衛生研究所(NIH)が、これに加わった。ブッシュの当初の構想は、もっぱら基礎研究を支援する全米科学財団(NSF)として、矮小化された形で実現されたに過ぎなかった。こうしてアメリカ合衆国では、複数の財源から成る、きわめて複雑な科学に対する資金援助体制が誕生することになった。このような資金援助組織の複数的な性格によって、米合衆国の研究資金供給体制は、高度に複雑で官僚的な意思決定過程になった(Morin [13])。

科学史家のポール・フォーマンは、1940年から1960年の間に、アメリカの物理学は、その目的と性格に関して質的な変貌を遂げたことを説得的に主張している。すなわち、物理学の探求は、国家安全保障政策の追求の中に包摂され、軍事的な応用を約束する基礎物理学を軍は思慮深く援助したというのである。物理学者たちは、しばしばより興味深い科学上の疑問を犠牲にして、資金援助が期待される研究課題を選択したとフォーマンは考えている(Forman [14])。これは、科学者に軍が金と名声という動機付けを科学者に提供することによって、軍が科学者の才能を操ったことを示唆している。このような例は、米合衆国の

大学の研究機関に非常に多く見出される。マサチューセッツ工科大学は、いくつかの秘密軍事研究所を持ち、例えば60年代のはじめに早期警戒システム、セージを開発したリンカーン研究所は、通常の大学の予算を上回る資金を使ってきた。そこは軍産学複合体の重要拠点の一つであった。

しかし、もし、軍が基礎研究を操っていたとすると、では、どうして「純粋科学」は冷戦期に生き延びられたのだろうか。第二次世界大戦の時期には、アメリカの基礎研究は、戦争活動のために科学が動員され、程度の差はあれ事実上の停止状態になっていた。しかし、戦後は、科学者たちは、研究と資金使用に関して、ある程度の自由度を享受したのである。少なくとも小さなパーセンテージではある(およそ5パーセントと言われている(Geiger [15]))が、軍関係の機関を含む技術的な事業における全研究開発費の一部は、彼ら自身の研究のために使用されたと考えられている。この柔軟な関係が、軍事的後援の下で、なぜ「純粋科学」が成長続けたのかを説明する理由になるだろう。これは「フォーマン・ルール」と呼ばれている。すなわち、このルールが、軍と科学界の共生関係を保障する一つの条件だったのである。

連邦政府の主要な任務が、外交と国防にあり、高等教育を直接的には担わない米合衆国にあつては、軍事・国防への研究投資を通じて大学などの研究機関へ基礎から応用までの研究資金を注入し、その成果を民間へスピノフするという方法は、冷戦期にあつては、ある種の「合理的」な研究支援の流れであった。しかも、冷戦期にあつては、基礎研究を奨励し、ノーベル賞などを多く獲得することは、米合衆国の科学的、技術的優位性をアピールするためにも期待されたのであった。

このような軍学複合体を基礎にした研究資金の流れは、冷戦後にあつても、合理的なものだろうか。日本のように憲法の制約上、大規模な軍事産業を持たない国には、このような資金の流れのモデルは、適用できない。

3. 基礎研究の社会的正当化: 現代日本の場合

日本における研究開発費は、図1にあるように、1980年代に急速な伸びを示したことが知られている。1989年には、ドイツを追い抜き、大きなGDPを持つ国の中で、トップになった。1980年代の研究開発活動の急成長は、民間の企業によって担われた。図2は、セクターごとの研究開発費を年次的に示したもののだが、1980年代の民間企業での伸びがよく見て取れる。この時期の国の予算は、成長抑制型、いわゆるゼロ・シーリングの政策が取られていたため、大きな増加はなかった。その結果、特にバブル景気の時期には、日本の研究開発費のうち、政府負担割合は、図3のように、先進国の中で最下位になった(Yamazaki [16])。

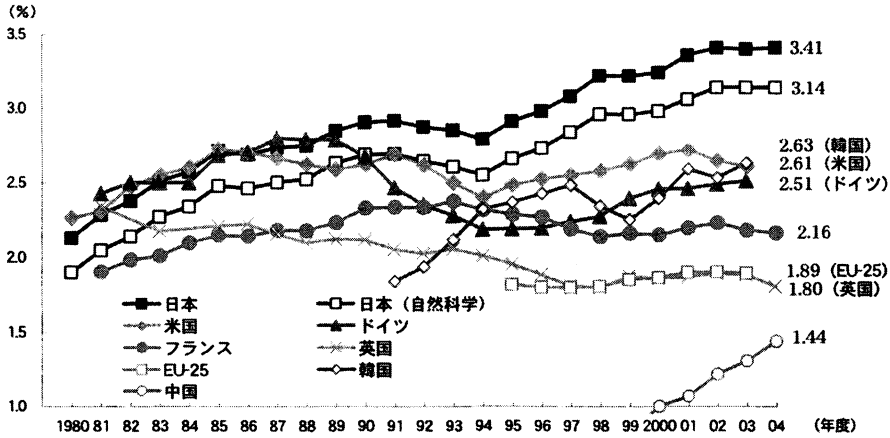


図1 主要国等における研究費の対GDP比の推移
(出所：『科学技術白書』2006年)

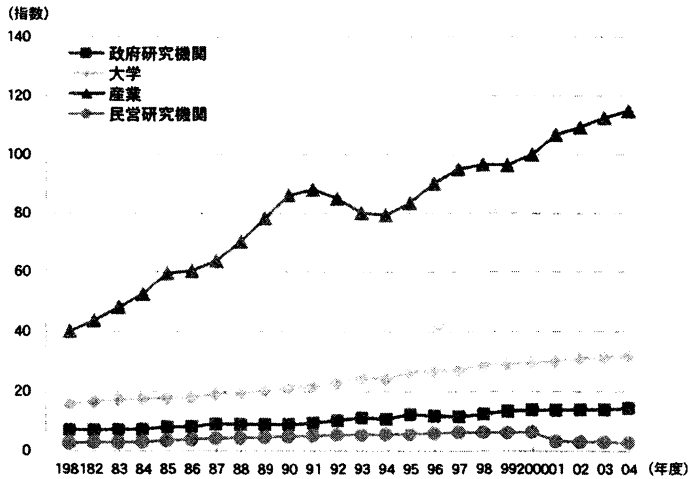


図2 組織別実質研究費の推移
(出所：『科学技術白書』2006年)

しかし、バブル経済の崩壊によって、日本の民間企業の研究開発費は減少し、日本の研究開発費全体も減少することになった。これは、日本としては、明治の近代化以降、戦争の影響などを別にすると、初めての経験であった。このショックに、海外の先進国による知的財産権保護政策の強化が加わり、国の科学技術政策の見直しが1995年に行われ、「科学技術基本法」が制定された。この法案の国会での提案理由の説明に、当時の状況判断がよく出ている。

我が国は、科学技術に関して、いわゆるキャッチアップの時代、すなわち目標となる先進国が常に存在し、かなりの分野で技術導入が可能であった時代の終焉を迎えております。今後は、フロント・ランナーの一員として、自ら未開の科学技術分野に挑戦し、創造性を最大限に発揮し、未来を切り拓いていかなければならない時機に差し掛かっております(衆議院 [17])。

「科学技術基本法」は、国会で全会一致で採決され、翌年から「科学技術基本計画」に則った包括的な政策が展開されていった。その結果、大学には、特定のテーマで研究教育を推進するためCOEプログラムが設けられるなどの重点的な予算配分が行われた。「科学技術基本法」とその「基本計画」の実施によって、図3に見られるように、研究開発費の中の政府負担割合は増勢に転じ、一定の改善が見られた。

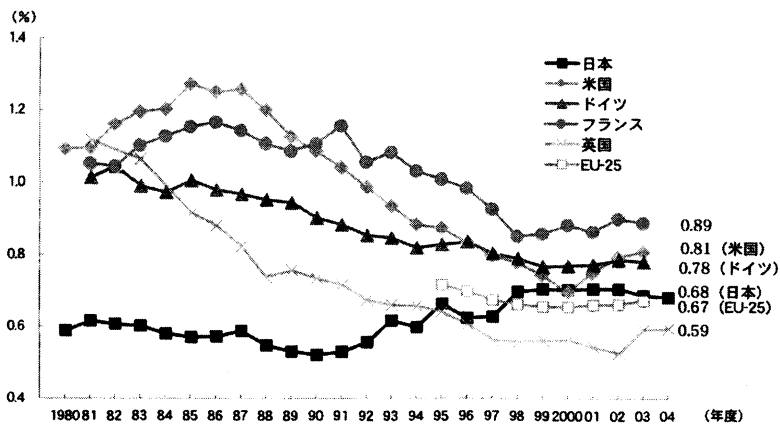


図3 主要国の政府負担研究費の対GDP比の推移
(出所：『科学技術白書』2006年)

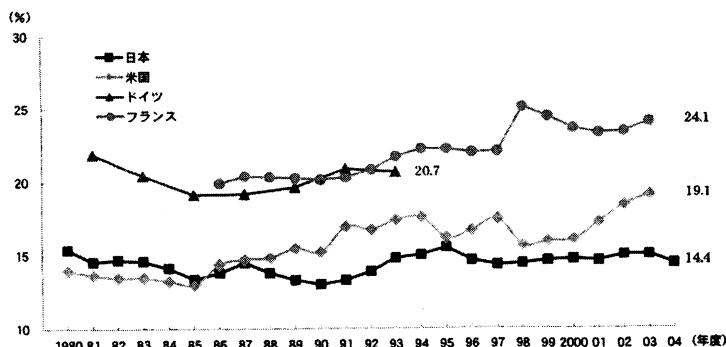


図4 主要国の基礎研究費の割合の推移
(出所：『科学技術白書』2006年)

しかし、こと基礎研究に関するかぎり、図4のように、大きな変化はなかった。日本の学術研究は、成果が期待できる応用的な研究や、目的指向型の基礎研究に流れているように見える。政府関係の報告書などでは、学術的な基礎研究について、どのように理解されているのだろうか。まず、気づくのは、政府の科学技術政策の方向が、学術的な基礎科学についても、経済的な文脈の中で語られることが多いことである。経済産業省が2005年に出した『技術革新を目指す科学技術政策』という報告書では、「経済的な価値の創造や国家的な価値の実現を目指す基礎研究については、…目的指向で進めることが必要である」として、そのような基礎研究を目的基礎研究としたうえで、「一方、経済的又は国家的なミッションを負わないが、科学的な価値創造を目指す基礎研究(いわゆる純粋基礎研究)については、世界科学会議のブダペスト宣言にあるとおり、最終的には人類の持続可能な発展に貢献することが求められている。」とされている(産業構造審議会 [18])。ブダペスト宣言は、人類の持続可能性のみを強調したものではないので、ここでの宣言の理解は狭いものだが、それにしても純粋ないし学術基礎研究が、環境破壊を回避しながらの経済発展を図るという趣旨の「持続可能な発展」に結び付けられるのは、おかしな話である。第3期科学技術基本計画の文書でも、日本の基礎科学の立ち遅れが指摘され、「人類の英知を創出し世界に貢献できる国の実現のためには、飛躍的な知を生み続ける重厚で多様な知的蓄積を形成することがまず求められる。…このような飛躍への知識の蓄積については、いまだ我が国は、欧米諸国に比肩しうる十分な厚みを有するには至っていない(第3期科学技術基本計画 [19])。」とされている。そのような現状を打ち破るには、このような考え方でよいのだろうか。

最近の日本のノーベル賞を例に挙げて、いま述べたような考え方の問題点を見てみよう。2000年のノーベル化学賞は、伝導性プラスチックの研究で、東工大出身の白川英樹先生が受賞された。白川さんの研究は、多くの応用分野を持ち、経済発展にも寄与した。しかし、その2年後の小柴昌俊さんの場合は、どうだろう。小柴さんは、マゼラン星雲の星が爆発した際に放出されたニュートリノの検出などに成功し、ノーベル賞を受賞したが、この研究が、「持続可能な発展」とどんなつながりがあるのか、誰にも分からないだろう。むしろ、「持続可能な発展」と関係なくても、それ自身で重要な成果だと評価されているのである。問題は、それをどう理解するかということである。

基礎研究には、社会的に把握しにくい側面がある。歴史的に見ると、基礎研究と応用研究の間に区別を設けることは、困難である。たいていの基礎研究は、最終的には、その応用分野が見つかっている。例えば、ブール代数は、1847年にブールによって提唱されたときは、非常に純粋な理論とされた。しかし、その約100年後、1938年にシャノンによってスイッチ回路に応用されることになり、現在では計算機科学のもっとも基礎的な道具となっている。20世紀のもっとも抽象性の高い理論であったアインシュタインの一般相対性理論も、約半世紀後には、GPSで衛星と地上での時間進行差の補正に使われるようになった。過去の事例を見ると、学術的な基礎研究の効能を議論するには、50年、100年単位の視

野が必要なのである。そのため、基礎研究の効能が現れる時期を予想することは、非常に難しい。小柴さんのニュートリノも、100年後には通信に使えているかもしれないし、そうでないかもしれない。

基礎研究について、制度論的に面倒なのは、その成果が誕生する場所と、それが技術化される場所が、必ずしも同じでないということである。米国で基礎研究が行われた成果が、日本で技術化されたなどの現象は、1980年代によく見られた。科学の成果は、トランス・インスティテューショナルに展開するのである。

科学の正当化については、いくつかの方法がある。一つは、技術的、経済的に役に立つという主張である。これは実利的な正当化といってもよい。もう一つは、科学の文化的価値に注目し、自然の理解を深め、ものの見方を変えろというような主張である。実利的な正当化は、技術、経済の視点からは分かりやすいが、50年、100年に先に役に立つかも知れないというよう基礎研究の正当化には向かない。長期の効果しか期待できない基礎研究は、スポーツや芸術と同じように、一つの文化的な活動としてしばしば正当化される(ザイマン [20])。こうした伝統的な基礎研究の正当化論から見ると、米合衆国の場合も日本の場合も、基礎科学の文化的な正当化が薄弱だということになる。しかし、そのような科学の文化的正当化の主張には、「科学のための科学」という一般の人々から切り離された高邁な主張に向かいやすい欠陥がある。

4. 科学活動の数量化

前節で議論した基礎研究の効果が現実化するまでの時間が、50年、100年という長期間になるという事実は、イノベーション論で、「死の谷」、「ダーウィンの海」といわれている現象を別の視点から見たことに相当する(Branscomb and Auerswald [21])。「死の谷」ととどまった発明や基礎研究の成果は、ある場合には、そのまま脱出してこないかも知れないが、場合によっては、ある一定の時間の後に谷から出てきて、現実のイノベーションに結実するかもしれない。その場合は、それらの基礎研究の成果は、「死の谷」で「死んでいた」のではなく、「寝込んでいた」と言った方がよい。それらの基礎研究の成果は、長い「眠り」から「目覚めた」のである。このような現象を、科学的なアイデアの覚醒効果と呼ぼう。

現在の基礎研究の成果が、実利的な効果を表すのに、50年、100年かかるとすると、たしかにわれわれが現在の知識でその技術的、経済的効果を評価することは困難である。しかし、近代科学が登場してから、400年近くの年月が経過している。そこで発想を転換して、過去の成果を、現在の基準で評価するようにしてみよう。例えば、基礎科学の成果が例外なく100年の後に現実化するのであれば、これまでに人類が蓄積してきた基礎科学的な成果を100件集めれば、大雑把に言って、1年に1件は技術化している勘定になる。

科学の活動を S で表すと、上で述べた基礎研究の成果の覚醒効果は、

$$\int S dt \quad (1)$$

に比例するだろう。この効果の技術ストック T に対する単位時間当たりの増加分は、 λ を適当な係数として、

$$\lambda \cdot \int S dt \quad (2)$$

と表される。通常、技術ストックの変化率は、研究開発費用 R_t と陳腐化率 ρ_t から、次のように求められる(渡辺 [22])。

$$dT/dt = R_t - \rho_t T \quad (3)$$

上記の科学的研究成果の技術化が行われた場合は、その効果が加わり、技術ストックの変化率は、次のようになる。

$$dT/dt = R_t - \rho_t T + \lambda \cdot \int S dt \quad (4)$$

一方、科学活動 S に関しても、 T と似た式が成り立つだろう。

$$dS/dt = R_s - \rho_s S + \mu(S \cdot T) \quad (5)$$

ここで R_s 、 ρ_s は、それぞれ科学研究費、科学活動の陳腐化率で、最後の項 $\mu(S \cdot T)$ は、メイスンのテーゼに基づいて、科学と技術が出会ったときに科学的な研究が推進することを表現するために加えられている。

技術ストックを通じての経済効果 V は、次のように表される。

$$dV/dt = b \cdot (dT/dt)V = b \cdot (R_t - \rho_t T) \cdot V \quad (6)$$

ここで、 b は V 、 T 、 S に比べて時間的にゆっくり変化すると考えられる係数で、次で与えられる。

$$b = (\partial V / \partial T) / V \quad (7)$$

いま、全研究開発費 $R = R_t + R_s = R_t(1 + \sigma)$ は、 V に比例するとして

$$R = \varepsilon V \quad (8)$$

としよう。これらの仮定から、 b 、 ε 、 σ 、 ρ_t 、 ρ_s 、 λ 、 μ を与えれば、適当な初期条件で、 V 、 T 、 S の時間的发展を求めることができる。このうちで、 ε 、 σ は、政策的な因子（政策によって変化させることができる因子）である。フォーマン・ルールの下では、 σ は数パーセントの値になる。ザイマンは、10パーセントを示唆している(ザイマン [20])。

いま、(4)式を書き直すと、

$$\begin{aligned} dT/dt &= R_t - \rho_t T + \lambda \cdot \int S dt \\ &= R - \rho_t T - R_s + \lambda \cdot \int S dt \end{aligned} \quad (9)$$

となる。(9)式の2行目の最初の2項は、科学研究を行わないで、資金をすべて技術開発に当てた場合の、技術ストックの増加分を表しているのだから、次の不等式が成り立つときは、科学研究への資源配分は、それを行わなかった場合に比べて、より大きな経済成長を引き起こすことが分かる。

$$\lambda \cdot \int S dt \geq R_s \quad (10)$$

この式の意味は、分かりやすい。左辺は、科学的な成果の蓄積から生まれる技術ストックを表し、右辺は科学研究に使用される研究費を表している。したがって、(10)式から、科学起源の技術ストックの増加が、科学研究への資源配分を上回る場合には、科学研究の振興によって、経済的な効果が期待できるという結論が得られる。

科学起源の技術ストックを得るためにも、それに応じた研究資金が必要であるので、(10)式の左辺にも研究資金が絡むだろう。そのため、具体的な場面に(10)式を応用することは、必ずしも簡単ではない。また、将来の科学起源の技術ストックを確保するためには、活発な科学活動が行われなければならないので、(5)式の右辺も、それに相応しい大きさになっていなければならないだろう。このような問題についての検討は、今後の課題としたい。

5. 結論

本論文では、科学と技術及び経済の相互関係に関する従来の科学史研究上の成果を踏まえて、次の事柄が明らかにされた。

- ① 冷戦期の米合衆国の軍学の共生関係を分析され、それを支えたものとして、フォーマン・ルールがあったこと。
- ② 1980年代以降の日本の科学政策の分析から、日本の科学技術政策の理念が、伝統的な実利主義の枠を超えていこと。
- ③ 従来の技術ストック・経済成長モデルに科学活動を組み込む数学的モデルの提案による、科学的研究活動が経済的効果を生み出すための条件。

参考文献

- [1] ボリス・ゲッセン(秋間実他訳), 『ニュートンの『プリンキピア』の社会的経済的根源』法政大学出版局 (1986); B. Hessen, *The Social and Economic Roots of Newton's 'Principia'*, New York: Howard Fertig (1971) (First Published in 1931 in *Science at the Cross Roads: Paper Presented to the International Congress of the History of Science and Technology*).
- [2] Robert K. Merton, "Science, Technology and Society in Seventeenth Century England," *OSIRIS*, IV, pt. 2 (1938): 360-632; *Science, Technology and Society in Seventeenth Century England*, Harper & Row (1970)..
- [3] ジョセフ・ニーダム(橋本敬造訳) 『文明の滴定』法政大学出版局 (1974) 序文; Joseph Needham, *The Grand Titration*, George Allen & Unwin (1969).
- [4] メイソン(矢島祐利訳) 『科学の歴史 上, 下』岩波書店 (1955); S. F. Mason, *A History of the Sciences*, Routledge & Kegan Paul (1953).
- [5] D. S. L. カードウェル(宮下・和田編訳) 『科学の社会史』昭和堂(1989); D. S. L. Cardwell, *The Organization of Science in England*, Heinemann Educational (1972).
- [6] Kim Dong-Won and Stuart Leslie, "Winning Markets or Winning Nobel Prizes? KAIST and Challenges of Late Industrialization," *OSIRIS Second Series*, 13(1998): 154-185.
- [7] Stuart Leslie and Robert Kargon, "Exporting MIT: Science, Technology, and Nation-Building in India and Iran," *OSIRIS Second Series*, 21(2006): 110-130.
- [8] 市川浩・山崎正勝編集責任 『“戦争と科学”の諸相—原爆と科学者をめぐる2つのシンポジウムの記録』丸善(2006)に[7]の邦訳がある。
- [9] Masakatsu Yamazaki and Yakup Bektas, "Military Funding and Cold War Science," paper presented to the second International Symposium on SIMOT (2006).
- [10] Jessica Wang, "Science, Security, and the Cold War: The Case of E. U. Condon," *Isis* 83(June 1992): 238-69.
- [11] Alex Roland, *Military-Industrial Complex* (Washington DC: AHA, 2002).

- [12]Foreword by Erich Bloch, Vannevar Bush, *Science-The Endless Frontier*, National Science Foundation (1990).
- [13]Alexander J. Morin, *Science Policy and Politics*, Prentice-Hall orewor (1993).
- [14]Paul Forman, “Behind Quantum Electronics: National Security as Basis for Physical Research in the United States, 1940-1960,” *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences* **18**, no.1 (1987): 149-229.
- [15]Roger L. Geiger, “Science, University, and National Defense, 1945-1970,”*OSIRIS* second series, 7(1992): 26-48.A
- [16]Masakatsu Yamazaki, “Japanese Policy of the Promotion of Basic Sciences,” paper presented to the third International Symposium on SIMOT (2008).
- [17]衆議院科学技術委員会「科学技術基本法案に対する付帯決議」
http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/kagaku/kihonkei/kihonhou/futai.htm
- [18]産業構造審議会 産業技術分科会 基本問題所尾委員会『技術革新を目指す科学技術政策』経済産業省(2005) 44 頁.
- [19]「第3期科学技術基本計画」第1章3「科学技術政策の理念と政策目標」(2006)
- [20]ジョン・ザイマン(松井巻之助訳)『社会における科学』草思社(1981); John Ziman, *The Force of Knowledge the Scientific Dimension of Society*, Cambridge University Press (1976).
- [21]Lewis M. Branscomb and Philip Auerswald, *Between Invention and Innovation: An Analysis of Funding for Early-Stage Technology Development*, NIST (2002).
- [22]渡辺千仞編『技術革新の計量分析』日科技連出版社 (2001).

2009 年度 博士・修士論文梗概

2009 年度提出修士論文

- 清末中国における近代的科学・技術導入に及ぼした
明治日本の影響に関する歴史的分析
—天津の直隸工芸総局を例にして.....徐恒
- 矛盾許容型論理PCL1の研究.....大森仁

2009 年度提出博士論文

- Exploration, Marketing, and Politics of Natural Gas
in Bangladesh, 1971-2008.....Md. Mamunur Rashid
- ヨハン・ベルヌーイの力学研究
—18 世紀力学史における位置付けと再評価.....野澤聡

清末中国における近代的科学・技術導入に及ぼした

明治日本の影響に関する歴史的分析

——天津の直隸工芸総局を例にして——

梶研究室 徐恒

アヘン戦争以降の清朝の歴史研究では、1860 年代から 90 年代にかけての洋務運動については、科学史研究者によっても多くの研究がなされてきた。その後辛亥革命（1911）に至る清朝中国では、いわゆる戊戌変法から清末新政と呼ばれる一連の改革が行われたが、それについては、従来の歴史研究では低い評価しか受けて来なかった。しかし、近年、この時期の再評価が始まっている。ただ、研究は、政治、経済、教育、法制、軍事の分野に関心が集中しており、この時期の科学史的研究はまだほとんどなされていない。本研究は、まだ十分に進んでいない、この清末改革期の中国における科学技術の近代化に焦点を当てるものである。とくに当時の中国の近代化の中心地であった直隸省で、1903 年に設立された直隸工芸総局を取り上げて詳しく分析し、清末中国における近代的科学・技術導入に及ぼした明治日本の影響に明らかにした。

本研究にあたって、中国において、清華大学図書館、中国国家図書館、天津図書館などの図書館および天津市檔案館で関係文献と史料を入手した。さらに日本でも、国会図書館及び日本外交史料館で当時の中国の視察官僚、留学生や日本人教習などに関する史料を集めた。とくに重要なのは、外交史料館に所蔵されている当時の清官僚來訪に関する文書である。また 1903 年に大阪で開催された第五回内国勸業博覧会には中国から多数の視察官僚が訪れており、この内国勸業博覧会に関する日本の新聞記事なども集めた。

論文では、直隸工芸総局を扱うに先だって、第 1 章でその設立前史を概述した。19 世紀後半における洋務運動は、曾国藩、李鴻章を初めとする洋務派の指導のもとに、清朝体制をそのまま維持することを前提として、外国の最新技術だけを導入しようとしたものだった。洋務運動で導入されたのは、軍事工場とそのための重工業であり、日常生活に関わる近代的な軽工業はほとんど導入されることがなかった。洋務運動は、日清戦争の敗戦で挫折した。その後清政府は、戊戌変法の失敗を経て 20 世紀初頭に経済、教育、軍事などの分野で「清末新政」を行った。この清末新政の中心人物は、1901 年に北洋大臣兼直隸總督に就任した袁世凱であった。彼は、直隸省周辺の制度の近代化に取り組み、本論文で取り上げた直隸工芸総局の創設は、袁によるそうした近代化政策の代表的なものの一つだと考えられる。

第 2 章で、直隸工芸総局の成立過程について論じた。まず、総局設立にとって重要な周学熙らによる日本視察を紹介した。周学熙は、清末の官僚・実業家・

政治家で、1901年以來ずっと袁世凱の幕僚として直隸省商工業の振興のための諸策に取り組んできた。1903年、周を初めとする視察団は、袁に命じられて、二ヶ月の日本視察を行った。視察団は、朝鮮を経て日本の長崎・大阪・京都・神戸・横浜・東京など大都市を遊歴し、造幣局、印刷局、学校、銀行、工場、会社など経済・教育・実業に関する諸機関を見学し、多くの日本人と面会した。特に、1903年4月から大阪で開催された第五回内国勸業博覧会の見学は重要だった。日本の商工業、貨幣制度、教育制度を実見した周学熙は帰国後、天津に「直隸全省における工芸界の中樞機関」直隸工芸総局を開設すべきであることを袁世凱に進言した。

1902年秋、直隸工芸総局に先立って、周学熙は天津で北洋銀元局をすでに開設した経験があった。その北洋銀元局の設立において、見事な手腕を示した周学熙は、直ちに袁世凱にその優れた才能を認められ、その後の直隸の実業に関わる仕事はほとんど周学熙に依頼されるようになった。さらに、北洋銀元局で得られた利益は、直隸工芸総局の設立とその活動にも大いに使われた。

1903年9月、周学熙は袁世凱に命じられて直隸工芸総局を開設した。「直隸全省における工芸界の中樞機関として、実業の振興を目的とする」直隸工芸総局の傘下には、高等工業学堂、実習工場、勸工陳列所、教育品製造所、勸業鉄工場、勸業会場などの諸機関が附設された。工芸総局のもとで、直隸省実業の振興を進めていった。

続く第3章では、直隸工芸総局を支えた人々について分析した。清官僚と教習の史料をまとめると、1903年から1907年の五年間に、五回にわたり、計30名以上におよぶ官僚、教習が日本視察を行ったことがわかる。第1章で記述した周学熙らの日本視察を除いて、他の四回の視察でも、この章で詳述したように官僚、教習らが日本の諸機関を視察し、その先進的な生産技術と管理制度を見学した。例えば、陳惟壬、周家鼎、趙元礼などの日本視察では、彼等は神戸、大阪の諸工場を視察した。特に大阪府立商品陳列所に関する内部構造は詳細に記録されており、それらが工芸総局の考工廠の改革の参考にされたと推測できる。また、胡家祐は工芸総局派遣の調査員として、日本に駐在し、新聞調査、実業調査、留学生監督の仕事を任された。

第3章ではさらに、直隸工芸総局で活躍していた日本人を紹介した。日中の史料を整理すると、直隸工芸総局では、少なくとも17名の日本人教習と顧問が雇用されたことが分かった。彼らは、主として高等工業学堂、実習工場及び考工廠に所属して、日本語、数学、化学、医学、地理、歴史など多くの科目の教授を担当し、また織物、大工などの技術を教えた。17名の中でも、とくに藤井恒久、塩田真、駒井于菀、中沢政太の4名が重要で、論文でも詳しく分析した。特に、藤井が重要で、彼は直隸工芸総局の発展に直接にかかわって、この期間の日中の人的、技術的及び制度的交流において、最も重要な役割を果たしたことが明らかになった。こうした日本からの優秀な人材は、直隸工芸総局に対して規則の制定、仕事の方法など、様々な影響をもたらしたと推測できる。

さらに、第3章では、直隸工芸総局の各附属機関における学生・学徒について

でも紹介した。残る史料をまとめると、1903年開局から1907年11月までに、直隸工芸総局の各附属機関において、少なくとも1800名の学生が卒業または在学していたことがわかった。この中から、4回にわたって総計57名の学生が日本に派遣されたことがわかった。彼らは、日本の実業関係の諸機関を見学し、さらに実業学校・工場で学び実習を行った。前述の調査員、胡家祐の日本調査には、1906年大阪鉄工場に派遣された学生についての監督日記が残されている。その分析から、19名の学生が八ヶ所の工場に配属され、工業生産などを学んでいたことがわかる。彼ら留学生の中には、天津近代史において重要な役割を果たした人物も現れた。

第4章では、直隸工芸総局における日本からの事業モデル導入、技術・機械導入に関して分析した。

1903年秋、工芸総局視察員の何炳瑩及び学堂の教習・工匠等が、袁世凱に命じられて、日本の製紙技術を調査した。現地で、和紙の製法を調査し、当時中国各地の製紙方法との違いについて報告した。帰国後、日本の調査に基づいて、日本の製紙事業を中国に導入できないかについて、直隸工芸総局の官僚たちは検討した。当時の史料には、何炳瑩らの日本製紙調査は、「工芸総局で製紙事業を開始するきっかけになった」と記されている。洋紙ではなく、和紙の製法の導入が検討されたことは、きわめて興味深い事実である。

第4章ではさらに、1904年3月、考工廠の陳秉鑑、孟広進が、在日中国人商人の紀鉅汾とともに、日本にわたって行った東京と大阪の商品陳列所の調査を詳しく検討した。彼等は、帰国後、1904年9月に、考工廠を創設した。すでに渡日前の1903年9月に、陳列所としての考工廠の創立を決めていたが、その詳細がはっきりしたのは陳らの日本視察の結果だと考えるのが自然で、彼ら視察員による日本で学んだ商品陳列所の思想・経験が大きな役割を果たしたと言える。

さらに、日本からの技術導入の二例を紹介した。1903年秋、藤井は工場の拡張を袁世凱総督に提案した。その結果、袁世凱に命じられて、藤井の案内により天津知府の凌福彭及び工匠の富士英が日本に渡った。日本で織物工場を詳細に調査した上で、日本人夫婦二人の織機熟練者を雇い、百四十台の織機を購入して中国に持ち込んだ。帰国後、その雇用者と織機を用いて、日本の織物製造の技術を直隸省で普及させた。

本章では、第3章で触れた技術工匠の雇用による技術導入の具体例を記述した。すなわち、1906年5月に、行き詰まった実習工場は、ジャカード工匠の津田許吉、木工科模型工匠の稲垣梅吉を日本から雇用した。それとともに新機器も導入され、日本の先進的な生産技術がもたらされた。

1906年、直隸工芸総局のもとで開催された二回の産業振興会についても分析した。そのやり方と内容を見ると、日本からの影響によるものだと考えられる。前述したように周学熙を初めとする視察団は、日本で諸学校・会社・工場を見学し、さらに大阪での第五回内国勸業博覧会を見学している。この経験に基づいて縦覧会及び内国勸業展覧会が直隸省で開催されたと考えられることは、自然で

『技術文化論叢』第13号(2010年)

あろう。こうした集会で、直隸工芸総局の成果が一般に公開され、導入された技術や制度の普及が図られた。

以上のように、第4章では、史料に基づいて、1903年から1907年まで直隸工芸総局の活動を分析した。それ以降、直隸工芸総局の活動に関する史料は、現存していない。それは、工芸総局の創設者袁世凱の失脚と関係があると論文では推測した。

1910年5月に直隸工芸総局は、廃止されたが、第5章では工芸総局に附属した諸施設のその後について記述した。総局に所属していた諸機関は、新設の勸業公所に所属させられ、すべて直隸勸業道の所轄となった。各機関は、その後も事業を継続し、直隸省周辺の工業振興と実業教育に役割を果たした。今の天津でも、工芸総局の活動の名残がある。

以上のように、本論文では、直隸工芸総局の創設と発展を分析し、それが明治日本の大きな影響下に起こったことを明らかにしたが、そのまとめを第6章で行い、明治日本の影響が、(1)人材とそのつながり、(2)具体的な設備と技術上のつながり、(3)制度上のつながりの三点にまとめられることを示した。

中国の近代化の第一歩としての洋務運動と比べると、直隸工芸総局は、明治日本から最新技術の個別の導入だけではなく、科学・技術制度の日本型モデルの導入も行った。その傘下に作られた諸機関は、お互いに大いにつながりをもって、工芸総局全体が巨大な総合機関となっていた。さらに、洋務運動期とはちがって直隸工芸総局のもとでは、軍事工業ではなく、むしろ機械紡績、製紙事業など軽工業が大々的に導入され、工業の全分野を含むものであったことを指摘しなければならない。

1910年、直隸工芸総局は廃止された。しかし、それによって作られた科学・技術に関する制度は、当地に定着し、これ以降の中国における近代的科学・技術の制度的な先駆けの一つとして、中国の近代化過程に影響を与えたといえるだろう。

第6章では、本研究の今後の仕事についても述べた。第一に、さらなる史料の収集が必要である。本研究で入手した一次史料は、そのほとんどが直隸工芸総局側のもので、今後、日本人関係者の史料、また工芸総局に関係する周学熙以外の清官僚に関する史料や清国留学生の記録の探索は続けなければならない。第二に、直隸工芸総局が廃止されて以降、直隸周辺に作られた工業機関のその後の活動を分析する価値がある。最後に、直隸省の工芸総局以外の同時期の活動、および中国全土の学堂や実業企業の活動を分析する必要があるだろう。それによって、清末における中国の近代的な科学・技術の形成に及ぼした明治日本の影響をさらに明らかにし得るだろう。

A Historical Study on the Influence of Meiji Japan on the Formation of Modern Science and Technology in China: The Case of *Zhili* Arts and Craft Bureau in the Late Qing Dynasty

XU, Heng

This thesis has shown the significant influence of Meiji Japan on the formation of modern science and technology in China based on the historical analysis of the *Zhili* Arts and Crafts Bureau (直隸工芸總局) in Tianjin (天津) in the late Qing Dynasty.

In chapter 1, the historical background for the foundation of *Zhili* Arts and Crafts Bureau has been analyzed, including the achievement and failure of Self-Strengthening Movement (自強運動 or 洋務運動) between 1861 and 1895 and the late Qing Reforms after the Boxer Uprising (義和團事件) in 1900. Furthermore, the visit to Japan in March 1903 by Chinese bureaucrats, including *Zhou Xuexi* (周学熙), and the foundation of *Zhili* Arts and Crafts Bureau have been examined. Finally, Bureau's six affiliated agencies and personnel have been briefly described.

In chapter 2, the activities in *Zhili* Arts and Crafts Bureau and its personnel, including Qing bureaucrats, Japanese teachers and consultants, Chinese students in the educational institutions of the Bureau have been identified. Japanese influence on *Zhili* Arts and Crafts Bureau has also been discussed in terms of personnel.

In chapter 3, the introduction of Japanese technological institutions has been analyzed, especially in the field of papermaking, textiles and woodworking. After visiting the industrial exhibition bureaus in Japan, Chinese authorities introduced a similar system of industrial exhibition into China. They established *Zhili* Arts and Crafts Bureau as Manufacture Study Place (考工廠). This is another example of the introduction of Japanese model of industry to China.

In chapter 4, first two important exhibitions in 1906 have been analyzed. The Bureau was formally abolished in 1910. No archival materials have survived. The thesis has argued that this was due to the dismissal of *Yuan Shikai* (袁世凱), the leader of Qing Reforms, from the post of Viceroy of *Zhili* (直隸總督). The thesis also has argued that even though the Bureau was abolished some institutions and the system introduced remained, and later played an important role in industrial development in Tianjin district after the Xinhai Revolution (辛亥革命).

To sum up, the case of *Zhili* Arts and Crafts Bureau has shown that the experiences of Meiji Japan was the key for the establishment and development of this Bureau. Although it was abandoned in its seventh year, its affiliated agencies continued to work and through them the Japanese model became affective in *Zhili* province, especially in Tianjin.

矛盾許容型論理 PCL1 の研究*

A Study of Paraconsistent Logic PCL1

大森仁

Hitoshi OMORI

本論文は、矛盾許容型論理の体系の一つである PCL1 とその周辺の体系に関する研究の結果を提示するものである。ここでは、以下、まず矛盾許容型論理研究の動機を明らかにした上で、本論文の背景、目的・構成、要点、そして今後の課題・展望を明らかにする。

1 矛盾許容型論理研究の動機

本論は論理学における一つの研究結果を提示するものであるが、論理学の目的のうちの一つを挙げるとするならば、人間の推論を厳密に扱うことである、ということができる。

さて、現代の論理学の研究において、最もよく知られ、また基本的であると認められているのは、1879 年に Frege によって構築された古典論理と呼ばれる体系である。この体系は、Frege が算術における定理の性格を分析することから始まったものであり、数学の基礎を精密に論じるために構築された体系である¹。

ところで、人間の活動はもちろん数学のみにあるのではない。そして数学以外の場面で、人間が場面に応じてどのような推論を行っているのか、という問題は論理学において最も根本的かつ重要な問題であると言いうことができる。このとき、Frege 自身が述べているように、数学における推論を念頭に構築された古典論理が、他の場面における推論に適用された場合に望ましくない結果が導出されたからと言って、古典論理を非難することは外的外れなのである²。むしろ、対象としている場面におい

*指導教員：藁谷敏晴教授

¹この点に関しては、例えば以下の一節を参照されたい。

Now, when I came to consider the question to which of these two kinds the judgements of arithmetic belong, I first had to ascertain how far one could proceed in arithmetic by means of inferences alone, with the sole support of those laws of thought that transcend all particulars([4, p.5]).

ここで、判断に二種類あると言われているのは、一つは論理のみによって純粋に証明されるものであり、もう一つは経験的事実によって裏付けられるものである (cf. *ibid.*).

²この点に関しては、例えば以下の一節を参照されたい。

て古典論理を適用するのが不適切であると判明したならば、別の論理体系を構築する必要があるのである。

では、本論で研究している矛盾許容型論理はどのような場面を想定しているのか、ということが問題になろう。それは、最も一般的に述べるならば、推論において矛盾が生じた場合を想定している、ということができる³。つまり、矛盾が生じた際に人間はそれをどのように対処しているか、ということの問題としているのである。確かに人間が多く矛盾に直面していることについては、例えば次のような例を挙げることができる：(1) 微積分学が現代の形に整備される以前において、ニュートン力学は、あるときにはゼロではなく、別のときにはゼロとして振舞う無限小量を認める解析学の上に展開されていたことや、ボーアの原子の理論が、古典的な電磁気学の原理と量子論的な原理という二つの相容れない原理を含んでいたことなどは、理論内で我々が直面している矛盾の例となっており、さらに、(2) 数学の基礎として考えられている集合論における Russell の集合が引き起こす矛盾への対処、(3) Meinong の理論や弁証法の理論の形式化を試みる際の矛盾の取り扱い、(4) 言葉の曖昧さによって生じる矛盾の取り扱い、さらには(5) コンピュータに関連する場面においてデータベースを考えた場合に、データの入力の際の間違いや、複数の情報源をあわせることによって生じる矛盾も、我々が直面している矛盾として挙げることができるであろう⁴。

ところで、上で挙げた例において生じる矛盾に遭遇する場合を考えたとき、その場面において、古典論理を適用することは可能であろうか？ 答えは、否である。何故なら、古典論理においては命題 A とその否定命題 $\neg A$ からは任意の命題 B を導出することが出来てしまうからである。これを言い換えるならば古典論理においては、矛盾に遭遇した場合には任意の命題が導出されてしまい、有意味な推論を続けることが出来ない、ということである。つまり古典論理では、矛盾の受容と、任意の命題が導出可能となることとは一致してしまうのである⁵。このとき注意すべき点は、我々は実際には矛盾に遭遇した後にも有意味な推論を続けているということである。言い換えるならば、矛盾が生じることと、任意の命題を導出することとの間には大きな隔たりがあるのである。このような観点に関連して、以下の引用で述べられている Einstein の矛盾に対する態度は我々の直観と一致していると考えられる。

彼 [アインシュタイン] は波動像と光量子のアイデアとの間の完全な矛盾をとりあげて論ずることもできなかつたし、この解釈の両立しえない点

This ideography, likewise is a device invented for certain scientific purposes, and one must not condemn it because it is not suited to others([4, p.6]).

³ここで、矛盾とはある命題 A とその否定命題 $\neg A$ とがともに主張される、ということである。この点に関しては、異論もあるところである。例えば、Heyting は矛盾を何かに還元することは出来ないとし、否定はむしろ矛盾を用いて定義されるとしている ([5, p.102] を参照されたい)。

⁴これらの例のうち、(1) は [7] や [8] などに、(2)、(3) は [3] などに、(4) は [6] などに、そして (5) は [8] などにそれぞれ挙げられている。

⁵実際には古典論理のみならず、直観主義論理などの非古典論理においても同じ事態に陥るものもある。

をとり除こうとさえしなかった。彼はただこの矛盾を、ずっと後になれば、多分理解されるようになるものだと思っていた([10, pp.7-8], []の補足は筆者による)。

また以下の二つの引用で述べられていることも、矛盾が生じることと、任意の命題を導出することとの区別に関する重要な主張であると考えられる。

……我々は、場合によっては、次のような性質を持つ一群の仮説を取り扱う必要があることを考慮に入れなくてはならない。つまり、過度に整合的に取り扱ってしまうならば、考えている仮説の間で、あるいは既に受け入れられている法則との間で矛盾が生じるが、実際には明らかな偽をもたらさないように制限された形で利用しているような仮説である([6, p.37])。

da Costaは‘数学における寛容の原理’を明確にした……。この原理によれば、体系を研究する価値があるかないかの境界線は、体系が自明ではないことに近いところでひかれるべきであって、体系内に矛盾がないことの周辺ではない([1, p.3])。

いずれにせよ、上で例に挙げたような場面を想定した場合には、二つの論理的概念、つまり理論が矛盾していること(contradictory)、すなわちある命題Aとその否定とが導出されることと、自明であること(trivial)、すなわち任意の命題を導出することとを明確に区別する必要がある、そのためには構築される体系が矛盾許容型論理の体系と呼ばれているのである。

2 本論文の背景

ところで、上で最後に述べた理論が矛盾していること(contradictory)と自明であること(trivial)とを明確に区別することの必要性は、矛盾許容型論理の研究における矛盾に対する態度の違いや体系構築の方針の違いを超えて受け入れられているものであると同時に、矛盾許容型論理の体系構築に際して、立場の違いによらずに受け入れられている唯一の要請であると言うことが出来る。この要請の下で具体的な体系の構築に際して採用される方針には幾つかの種類があるが、そのうちの一つは「命題の整合性」という概念を導入するというda Costaに由来するものである。これを少し具体的に述べるならば、次のようになる。da Costaは矛盾許容型論理の体系 C_n ($1 \leq n < \omega$)を構築したが(cf. [2])、この体系においては式‘A’と否定‘ \neg ’に関する論理的爆発‘ $(A \wedge \neg A) \supset B$ ’は導出されないが、

$$A^{(n)} \supset ((A \wedge \neg A) \supset B)$$

は導出されるような体系となっている。このように、式‘A’と否定‘ \neg ’に関する論理的爆発を制限する要因を対象言語内に組み入れるというアイデアがda Costaの体系 C_n の大きな特徴なのである。

3 本論文の目的・構成

以上を踏まえた上で、本論文の目的と構成とを明らかにする。

まず本論文の目的は、大きく二つある。まず一つ目は、da Costa の研究を踏まえた上で藁谷と倭文によって展開された体系 PCL1(cf.[9]) に関する詳細な考察を与えることである。体系 PCL1 に関する研究はまだ初期の段階にあることを踏まえれば、本論における考察は一定の意義を持ち得ると考えられる。そして二つ目は、da Costa の研究と藁谷・倭文の研究との比較・検討を行うことである。このことも、体系 PCL1 について既存の研究の中での位置付けを明らかにするためには必要不可欠のことであると見えよう。これらを通して、da Costa の研究から始まった制限された論理的爆発を認めるような論理体系についての更なる考察を進めるための土台を得ることを目指しているのである。

次に本論文の構成を述べる。まず、上に述べた二つの目的のうちの一つ目を念頭に、第二章では体系 PCL1 そのものに関する考察を与え、それに続く第三章では、体系 PCL1 の種々の拡張について考察を行う。そして第四章では、二つ目の目的を念頭に da Costa のアプローチと藁谷・倭文のアプローチの比較・検討を行う。その際には、体系 PCL1 そのものではなく、新たに体系 C_1WS を導入した上で、議論を行うことにする。最後の第五章では本論文の要点を簡潔にまとめると共に、今後の課題・展望を幾つか挙げる。

4 本論文の要点

まず、本論文では矛盾許容型論理研究の先駆者の一人である da Costa 由来の方法を採用したが、その際にこの方法にはこれまでは指摘されていなかった利点があることを述べた。つまり、これまでの矛盾許容型論理の研究においては、体系が矛盾していることと、自明であることとを区別するということに留まっていたが、da Costa 由来の考えの一般化を巧みに行った Carnielli と Marcos の研究を踏まえるならば、「命題の整合性」を対象言語内に取り入れた上で、矛盾を命題の不整合性と関連付けることができるということである。言い換えるならば、これまでは矛盾を体系の自明性からいわば隔離させるのみであったのに対して、da Costa 由来のアプローチではさらにもう一步踏み込んで、ある命題 A に関して矛盾が生じた場合には、すべての命題ではなく、その命題 A の不整合性が従うということを取り扱えるのである。このような結果は、例えばある理論の構築の過渡的段階において採用すべき論理体系の探求に重要な影響を与えると考えられる。何故なら、命題 A の不整合性は、理論の前提の妥当性に疑いの目を向ける際の第一歩を表現していると考えられるのであり、したがって「命題の整合性」を対象言語内に取り入れる方法は我々の矛盾の取り扱いをより良く反映していると考えられるからである。

藁谷と倭文によって構築された矛盾許容型論理の体系 PCL1 は以上のようなアプローチに沿った体系であると言えるが、da Costa の体系にはない特徴を持っている。

体系が矛盾していることと、自明であることとの区別が可能であることと、命題の整合性を体系内で取り扱うことができることは、da Costaの体系と共通の利点であるが、体系 PCL1 にはさらに次の二つの利点がある：

1. 矛盾許容型の否定が重なった場合の振る舞いがより自然であること；
2. 体系の定式化が、命題が整合的であるとの仮定の下では古典命題論理の推論を可能にするという無理のない要請に基づいており、整合性の伝播則のようなより非自明な要請には基づいていないこと。

以上の見通しのもとに、本論文では体系 PCL1 及びその周辺の体系の研究を行い、以下の結果を得た：

- 体系 PCL1 の新しい定式化を与え、これにより体系 PCL1 が da Costa の体系 C_ω の拡張体系であることを明らかにした。
- 命題の整合性の伝播に関する式と、古典論理に関する制限の式とが等値であることを示した。
- 体系 PCL1 が有限値の多値論理ではないこと、否定に関する公理の独立性、そして論理結合子の独立性といったメタ論理的な結果を証明した。
- 体系 PCL1 を古典的否定によって増強する際の幾つかの具体的条件を明らかにした。この結果、(1) 体系 PCL1 の古典的否定による拡張が一意でないことが明らかになり、また(2) 体系 PCL1 と様相論理 S5 との関係のより精密な考察が可能となった。
- 体系の正規性という概念を導入し、ある条件下における命題の整合性の新しい特徴付けを与えた。
- 体系 PCL1 の既存の体系の中での位置付けを明らかにし、以下のような図式を得た：

$$\begin{array}{ccccccc}
 & C_{\min} & \subseteq & C_n & \subseteq & C_1 & \subseteq & P^1 \\
 & \subseteq & & \subseteq & & & & \subseteq \\
 C_\omega & \subseteq & PCL1 & \subseteq & PCL1C_{\min} & \subseteq & PCL1C_1 & \subseteq & PCL1C_2 & \subseteq & CPC \\
 \cap & & \cap & & \cap & & \cap & & & & \\
 CC_\omega & \subseteq & TCC_\omega & \subseteq & HZ & \subseteq & CPC & & & &
 \end{array}$$

ここで、体系 Σ_1, Σ_2 に対して $\Sigma_1 \subseteq \Sigma_2$ とは、体系 Σ_1 が体系 Σ_2 に真に含まれる部分体系であることを示している。

- da Costa の CCP と藁谷・倭文の CCP との比較を行うために導入した体系 C_1 WS の位置づけに関しては、以下のような図式を得た。

$$\begin{array}{ccccccc}
 C_1 & \subseteq & C_1\text{WSC3} & \subseteq & C_1\text{WSC4} & \subseteq & P^1 \\
 \subseteq & & \subseteq & \cup & & & \cup \\
 C_\omega & \subseteq & C_1\text{WS} & \subseteq & C_1\text{WSC}_{\min} & \subseteq & C_1\text{WSC1} & \subseteq & C_1\text{WSC2}
 \end{array}$$

ここで、体系 Σ_1, Σ_2 に対して $\Sigma_1 \subseteq \Sigma_2$ とは、体系 Σ_1 が体系 Σ_2 に真に含まれる部分体系であることを示している。

本研究で得られた諸結果は、da Costa のアプローチに沿った幾つかの矛盾許容型論理の体系に関するものに限られている。しかしながら、これらの結果を導出した際に採った主要な観点及び手法は、da Costa のアプローチに沿ったすべての体系に適用可能なものである。従って、本論で扱われなかった体系、またはこれから構築されるであろう体系の比較・検討にも本研究の観点と手法が有効であることを付言しておく。

5 今後の課題・展望

本論における結果を踏まえ、今後の課題・展望を大きく三つに分けて述べる。

第一の課題として、具体的な問題を設定する必要があるということが挙げられる。例えば、科学方法論的状况において不整合性がどのように取り扱われているかということ考察する必要があるということである。これを明らかにすることにより、矛盾許容型論理の体系の構築に際して要請すべき条件を明らかにすることができる。ともに、既存の諸体系に対する一定の評価が得られると考えられる。

第二に、本論は命題の内容に立ち入らない命題論理の範囲のみの研究となったが、なお命題論理の範囲において研究する価値のある問題が幾つかある。本文中に未解決な問題として挙げたものの他に、ここでは次を挙げておきたい：

- 1.4.3 節で触れた論理体系 Σ とその拡張体系に関する考察を、体系 PCL1 など得られた結果を踏まえて行うことは、非常に重要であると考えられる。
- 本論の結果を踏まえるならば、CCP の伝播則のより一般的な体系における考察も可能となると考えられる。
- 体系 PCL1 において採用した CCP に関連して、体系から二重否定の除去を取り払った上で、CCP として $A \equiv NNA$ を採用した際の体系の考察を行うことも有意義であると考えられる。

第三に、命題論理の範囲での研究の後には、当然命題の内容に立ち入る研究も必要となる。その際には、通常の述語論理だけではなく、Leśniewski らの *Ontology* へと拡張していくことが一つの方針となる。そもそも通常の述語論理は、数学の基礎に対する考察をもとに、独特の哲学的枠組みの上に成り立っており、結果として述定の 'is'、同一性の 'is' そして存在の 'is' という異なった 'is' の役割に対して異なっ

た統語論的形態を与えることになっている。このことは、曖昧さを極力少なくすることが必要となる数学での推論にとってはそれなりに妥当なのであるが、しかし数学での推論に限らないより一般的な状況を考慮に入れるのであれば、我々の推論のしなやかさとも言うべき柔軟性を残しながら形式化することが必要であると考えられる。そのため、LeśniewskiらのOntologyを採用する方が望ましいと考えられるのである。

参考文献

- [1] Carnielli, W. A. & Marcos, J., A Taxonomy of C-systems, in Carnielli, W. A. & Coniglio, M. E. & d'Ottaviano, I. M. L.](eds.) *Paraconsistency: The Logical Way to the Inconsistent, Proceedings of the II World Congress on Paraconsistency*, Marcel Dekker, 1-94, 2002.
- [2] da Costa, N. C. A., On the Theory of Inconsistent Formal Systems, *Notre Dame Journal of Formal Logic*, vol.15, No.4, 497-510, 1974.
- [3] da Costa, N. C. A., The Philosophical Import of Paraconsistent Logic, *The Journal of Non-Classical Logic*, vol.1, No.1, 1-19, 1982.
- [4] Frege, G., *Begriffsschrift*, a formula language, modeled upon that of arithmetic, for pure thought, in Jean van Heijenoort (ed.), *Frege and Gödel*, 1-82, 1970. English translation of *Begriffsschrift*, Halle, 1879, by Stefan Bauer-Mengelberg.
- [5] Heyting, A., *Intuitionism*, Third Revised Edition, North-Holland, 1971.
- [6] Jaśkowski, S., A Propositional Calculus for Inconsistent Deductive Systems, *Logic and Logical Philosophy*, Vol. 7, 35-56, 1999, English translation of 'Rachunek zdań dla systemów dedukcyjnych sprzecznych', *Studia Societatis Scientiarum Torunensis*, Sectio A, Vol. I, No. 5, 57-77, by Olgierd Wojtasiewicz with corrections and notes by Jerzy Perzanowski.
- [7] Priest, G., Inconsistency and the Empirical Sciences, in Meheus, J. (ed.) *Inconsistency in Science*, Kluwer Academic Publishers, 119-128, 2002.
- [8] Urchs, M., Complementary Explanations, *Synthese*, 120, 137-149, 1999.
- [9] Waragai, T. & Shidori, T., A system of paraconsistent logic that has the notion of "behaving classically" in terms of the law of double negation and its relation to S5, in J. -Y. Béziau, W. A. Carnielli and D. Gabbay (eds.) *Handbook of Paraconsistency*, College Publications, 177-187, 2007.

- [10] ハイゼンベルク, W. K., 現代物理学の思想, 河野伊三郎・富山小太郎 訳, みすず書房, 東京, 1967.

A Study of Paraconsistent Logic PCL1

Hitoshi OMORI

Abstract

The present thesis offers a study of paraconsistent logic. It aims to distinguish two logical concepts for logical systems, namely being *contradictory* and being *trivial*. A system is called *contradictory* when a proposition and its negation are both derived and a system is called *trivial* when any proposition can be derived. One of the motivations to construct a system of paraconsistent logic is that we often face contradictions while we are in a stage of transition from a rather rough theory to a more sophisticated theory. If we take the classical logic as the underlying logic of a theory in the above mentioned situation, then any proposition will be derivable and therefore we would not be able to continue our sensible inference. On the other hand, if we take a system of paraconsistent logic as the underlying logic, then even if we face a contradiction, we would not necessarily be forced to derive propositions disorderly.

Now, as it is known, there are several different approaches in constructing systems of paraconsistent logic. In the present thesis, we take the same approach that originates from da Costa. This is because we consider that da Costa's approach has an appealing feature which has not been pointed out before. We can briefly summarize the feature as follows: in the study of paraconsistent logics until now, it seems that we were not able to go further than Jaśkowski's criterion to differentiate two logical concepts, contradictory and trivial. In other words, we did succeed in isolating contradictoriness from triviality, though we did not succeed in obtaining some meaningful conclusions from a contradiction. It seems, however, that this situation can be overcome when we pay attention to da Costa's approach. His main idea is to internalize the notion that was originally called "behaving classically" by da Costa and later generalized as "consistency of a proposition"(CP hereafter) by Carnielli and Marcos into the object language to restrict the classical propositional logic. As a result of this move, we are now able to derive not any proposition but inconsistency of the proposition A from a contradictory pair A and its negation. Since an inconsistency of a proposition can be considered as a first step to doubt the validity of hypotheses, we can say that da Costa's approach nicely reflects our way of handling contradiction. The first chapter of the present thesis clarifies these points after a formal definition of paraconsistent logic, some brief sketches of the development of paraconsistent logics and a survey on da Costa's system C_n .

We then start in the second chapter our study on the system PCL1. This system PCL1 is a system of paraconsistent logic originally developed by Waragai and Shidori, and contains a more intuitive definition of CP compared to CP of da Costa. In the third

section, strong negation is defined, and its basic results with some interesting relations to paraconsistent negation and CP are proved. The fourth section presents detailed analysis of propagation of CP in PCL1. It builds on one of the important contributions of Waragai and Shidori on the relation between propagation of CP and de Morgan's law. Here we go a little further. These results will be followed by the fifth section in which (1) some metalogical theorems for PCL1 tracing Arruda's results regarding da Costa's system C_n and (2) the independency of logical connectives of PCL1 are investigated.

The third chapter focuses on the various extensions of the system PCL1. The first three sections offer some observations on enriching the system PCL1 with the classical negation. Namely, some concrete conditions for enriching the system PCL1 with the classical negation are explored by making use of the strong negation introduced in the previous chapter and also the fact that the system PCL1C, which is an extension of PCL1 enriched with the classical negation, is actually not determined uniquely is proved. The fourth section is devoted to a new characterization of CP in the system PCL1C, which can also be applied to da Costa's system C_1 . The fifth section then concentrates on the relation between PCL1 and the well-known system of modal logic S5. The important result here is that the main theorem in Waragai & Shidori[2007] is quite sensitive in the sense that it depends on how we enrich the system PCL1 with the classical negation; if we extend PCL1 "minimally", then the relation to S5 holds, but otherwise it turns out that the result does not hold. The chapter three closes with a result that states the position of PCL1 and its extensions in the existing systems such as Sette's P^1 , Gordienko's TCC_ω and Béziau's HZ.

After these detailed examinations of the system PCL1, the fourth chapter opens by introducing a new system of paraconsistent logic called C_1WS . This system C_1WS is a "variant" of da Costa's system C_1 in the sense that we obtain C_1WS just by replacing the CP of da Costa with that of Waragai and Shidori. The reason for introducing this C_1WS is to compare the two different CPs. Now, as it might be expected, many of the results for PCL1 are shared by C_1WS . But there are of course some differences between PCL1 and C_1WS and these points are summed up. Also, a completeness theorem for the system C_1WS is proved by modifying the method taken by Loparić. After these discussions in the first section, some concrete conditions for enriching C_1WS with the classical negation, as it is done for the system PCL1, are observed in the second section. Here we find an interesting difference between C_1 and C_1WS , which reflects the difference in the notion of CPs. The third section tries to clarify the difference between two CPs from four aspects, i.e. (1) the behaviour of iterated negation, (2) the characterization of CP, (3) the result related to so called Urbas' problem and (4) the relation between contradiction and inconsistency.

Finally, the thesis closes by summarizing the main results of the study and identifying areas for future research.

Exploration, Marketing, and Politics of Natural Gas in Bangladesh, 1971-2008

Md. Mamunur Rashid

(Supervisor: Prof. YAMAZAKI, Masakatsu)

Introduction

Lacking financial and technological resources to meet the challenges of high-risk exploration and production of natural gas, Bangladesh had to turn to IOCs for help. Beginning about the early 1980s, many IOCs came to Bangladesh and subsequently discovered vast gas reserves. To export it, a pipeline was proposed by Unocal, a US based company, which discovered in 1998 the Bibiyana, the biggest gas field in South Asia. But the issue of exporting gas has generated a fierce debate: Should Bangladesh export gas and use revenues in poverty relief and other development programs or keep its reserves for future domestic use?

1.1 Questions and Difficulties Concerning the Bangladeshi Gas Sector

It is widely recognized that natural resource rich developing countries often face political, economic, technological, and marketing difficulties in utilizing their own natural resources.¹ This dissertation studies these difficulties in the case of Bangladesh. So the central question of this dissertation is: what are the difficulties of exploration and marketing of natural gas in Bangladesh? Can these difficulties be remedied? There is an ongoing public debate on natural gas export. So a more specific question is: what are the major barriers to exporting natural gas in Bangladesh?

1.2 An Overview of Bangladeshi Natural Gas Industry

Thanks to IOCs, Bangladeshi natural gas has emerged as a sector of large potential. However, this created a problem. The gas production soon came to surpass the limited local demand. To increase their profits, IOCs sought ways to market it elsewhere. Among the options is the building of a pipeline to India to sell some of Bangladeshi natural gas. The pipeline was proposed by Unocal, a US based company. The project was supported by IOCs, World Bank, and Asian Development Bank.² But the issue of exporting natural gas has generated a fierce debate.

CHAPTER TWO:

Theoretical Framework: A Summary of Franco Malerba's Sectoral Systems of Innovation (SSI)

2.1 Sectoral Systems of Innovation

Malerba's sectoral systems of innovation (SSI) theory focuses on the nature, structure, organization, and dynamics of innovation and production in sectors by looking at knowledge, actors and networks, institutions, and demand. This model can help

¹ Auty, R.M and Raymond F. Mikesell (1998). *Sustainable Development in Mineral Economics* (Oxford: Clarendon Press).

² Unocal (2002). "Bangladesh Natural Gas Pipeline Project: Fact Sheets." Sugar Land, Texas.

Exploration, Marketing, and Politics of Natural Gas in Bangladesh

understand better the structure and boundaries of sectors, agents and their interactions, and innovation processes specific to a sector.³ It is one of the characteristics of the SSI approach that it focuses not on the innovations within a specific nation or country but on those of a specific industrial sector which develops beyond national borders. On contrast, usual macro economics approaches focus on national systems of innovation. In the case of EU, however, the networks of even a specific sector span the whole EU, made up of many nations. This may be one of the reasons why the SSI approach receives academic popularity in Europe.

2.2 SSI's Three Blocks

According to Malerba, every sectoral system of innovation has three blocks: (i) knowledge, technological domain, and boundaries, (ii) actors, relationships, and networks, and (iii) institutions. These three blocks may be elaborated as follows:

2.3 SSI and its Implication for Developing Countries: Advantages and Disadvantages

The SSI approach has been successfully applied in Europe, and recently in Japan.⁴ This SSI approach is now popular with scholars in developing countries. According to Hosein and Mohammed's study of Iranian cellular phone, SSI model has advantages and disadvantages when it is applied the innovation study in developing countries: **(A) Advantages:** (i) SSI is affected strongly by international issues such as export and import, FDI, and local and foreign rivals. **(B) Disadvantages:** On the other hand, SSI approach is not as successful in some cases in developing countries: (i) it does not give the government a central role but considers it as one of the non-firm actors.⁵

2.4 Application of SSI Approach to the Historical Study on the Natural Gas Industry in Bangladesh

The SSI approach may also provide a useful guideline for the historical study of natural gas in Bangladesh, one of Least Developed Countries (LDCs). SSI approach may help discuss how to overcome vicious cycles that block systems which help with growth, development, and transformation of Bangladeshi natural gas sector. In the Bangladeshi context new actors might emerge as a result of changes in economic and political systems. These changes should affect the organization of Petrobangla in an evolutionary way. This study uses SSI theory only as a theoretical framework for the historical analysis of the issues surrounding Bangladeshi natural gas.

³ Malerba, F. (2004). *Sectoral Systems of Innovation: Concepts, Issues and Analyses of Six Major Sectors in Europe* (Cambridge University Press).

⁴ Malerba, F. (2004). *Sectoral Systems of Innovation: Concepts, Issues and Analyses of Six Major Sectors in Europe* (Cambridge University Press); Kumiko Miyazaki and K. Klinckweicz (2006). "Sectoral Innovation System in Software in Asian Countries." *Japan Advanced Institute of Science and Technology*:

⁵ Mohammad Hosein, R.M. and P. Mohammad (2008). "Comparative Analysis of Sectoral Innovation System and Diamond Model: The Case of Telecom Sector of Iran." *Journal of Technology Management & Innovation*, Vol .3 no .3, 2 March, Santiago.

CHAPTER THREE:

Knowledge and Technology Domains of Bangladeshi Natural Gas Exploration

3.1 Science and Technology Infrastructure for Expanding Gas Exploration and Reserves in Bangladesh

Bangladesh is considered as one of the most promising gas potential zones in South Asia. By contrast, its exploration, production, development and marketing of gas have been very poor, mainly because of the country's limited scientific, technological, and financial resources, and of lack of basic infrastructures. For example, its scientific and technological education receives far inadequate attention. This in turn affects negatively its gas exploration and marketing capacity, and impedes the development of an efficient and dynamic gas sector in Bangladesh.

3.2 Local Science and Technology and Academic Institutions

The natural gas sector is a capital, technology, and expertise intensive sector. Bangladesh is suffering from especially the lack of experienced staff trained in geology, geophysics, and drilling engineering. Bangladesh's weak science and technology infrastructure has a lot to do with poor education, vocational training, financial resources, and low R&D activities.

3.3 Geology Education in Bangladesh

One of the most relevant fields of science and technology for natural gas exploration activities is geology. In Bangladesh, four national universities and one institute (the Bangladesh Petroleum institute (BPI) offer professional training in geology. In 1995 a Petroleum and Mineral Resources Engineering Department (DPMRE) was established under Bangladesh University of Engineering and Technology (BUET), and now has four teaching staff, offering master level courses in petroleum engineering.

3.4 The Brain Drain of Energy Experts and its Influence on Gas Sector

The Bangladeshi oil and gas industries have been suffering from a vital brain drain. Over the last two decades, this outcome has affected these sectors badly. A report by Energy Bangla (2008) notes that more than 65 higher academically qualified Bangladeshi oil and gas engineers now live in the countries such as Canada, USA, UK, Germany, Singapore, and United Arab Emirates.

3.5 Knowledge Gap in the Estimation of Gas Reserves

One of the most pressing problems facing the Bangladeshi energy sector today is the lack of a complete assessment of the country's full gas reserve potential. According to a report by Centre for Policy Dialogue, Reinier Reddingius, managing director of exploration and development, Shell Oil Company Ltd, noted that there was a wide knowledge gap in the estimation of natural gas reserve in Bangladesh.⁶

⁶ Centre for Policy Dialogue (CDP) (2003). "Energy Sector of Bangladesh: What are the knowledge gas?" Dialogue Report 58, CDP, Dhaka.

3.6 Further Gas Reserve Potential

A large part of the country, especially the offshore western area remains mostly unexplored. In the last two decades a total of 25 gas fields have been discovered⁷. This has given Bangladesh a very high success rate in locating gas reserves. In India over 4000 exploratory wells have been drilled, in Pakistan about 800, and in Thailand, where oil and gas exploration started much later, around 1000 wells have been drilled. Bangladesh has a high exploration success rate of 1:3 compared to 1:6 in India, Pakistan, and Thailand.⁸

3.7 Bangladesh's Gas Reserve Estimations

In Bangladesh all estimated reserve figures are associated with certain degrees of uncertainties, since exact reserves of the country cannot be precisely known until the gas fields are actually depleted. A number of foreign countries provided technical assistance in gas sector development, and in assessing Bangladesh's gas reserves

3.8 New Surveying Technologies

The new technologies such as 3-D seismic surveys, compression, and effective management are likely to increase these sums greatly. For example, an initial 3-D seismic survey by Unocal at the Bibiyana field resulted in a 10 percent increase there, and it is likely to rise to 50 percent. According to Unocal by using this technology the proven reserve may double.

3.9 Bangladesh's Natural Gas Market and its Asian Context

The economist and technology management scholar Franco Malerba emphasized (2002) the significance of market in industrial sectors.⁹ Wybrew-Bond and Stern in their book *Natural Gas in Asia* identify four principal factors for gas market.¹⁰ At present Petrobangla is the main buyer of gas produced by the IOCs and Bangladeshi companies.

3.10 Innovation and Marketing Technology

Innovation in Bangladesh energy industry can be identified as two types, one is technical innovation in gas production, and the other is service innovation. Bangladesh's gas marketing technology is currently at a nascent stage.

⁷ Blakeley, Ian A. (2006). "Bangladesh — A Natural Gas Perspective." *Monthly Newsletter of the Petroleum Exploration Society of Great Britain (PESGB)* (London, U.K.: Petroleum Exploration Society of Great Britain (PESGB)).

⁸ Naseer, A. (2007). "Oil and Gas Exploration in Bangladesh." Vol 5, Issue 41, April, 6-2, *Probenews*.

⁹ Kumiko Miyazaki and K. Klincweicz (2006). "Sectoral Innovation System in Software in Asian Countries." *Japan Advanced Institute of Science and Technology*.

¹⁰ Ian Wybrew-Bond, and Jonathan Stern (2002). *Natural Gas in Asia* with Contributions by Davod Fridley, Najeeb Jung, Akira Miyamoto, and Keun-Wook Paik (Oxford: University Press for the Oxford Institute for Energy Studies).

3.11 Is Export of Gas-Based Products Market Economically Viable Option for Bangladesh?

Natural gas can be exported as industrial and processed byproducts or directly as a raw fuel. A more economical form of gas export is through piped gas. An alternative to land-based pipelines through Bangladesh to India is LNG, which is more expensive due to the capital-intensive nature of the liquefaction process.

Bangladesh is considered as one of the most promising gas prone basin. However, the performance of Bangladeshi gas sector has been very low. The main reason is the lack of scientific, technological, and financial resources. Over the last three decades, gas industries have been suffering from a vital brain drain. This outcome has affected these sectors badly. At present the Bangladeshi gas industry is totally dependent on external sources for technology. Marketing technology is only emerging now.

CHAPTER FOUR:

History and Actors and Networks of Bangladeshi Natural Gas Exploration

4.1 Gas Sector Development and Foreign Assistance

This chapter shows the historical development of the international network concerning natural gas exploration in Bangladesh.

4.2 British Colonial Period (1908-1947) and Petroleum Act 1934

In the period between 1908 and 1933, six exploration wells were drilled by the Burma Oil Company (BOC), a Scottish oil company, and the Indian Petroleum Prospecting Company (IPPC). Three of them were abandoned as no gas was discovered.¹¹ In 1934 a Petroleum Act consolidated and amended the law relating to the import, transport, storage and production of oil and gas, and other inflammable substances. From 1939 to 1945, due to the World War II, all exploration activities were disrupted.¹²

4.3 The Pakistani Period (1947-1971) and Petroleum Act 1948

In 1948, the Pakistani government promulgated a Petroleum Act to encourage oil and gas exploration. The act had a positive impact and led to a dramatic increase in the search for fossil fuels in the region. A large numbers of international companies were given concessions.¹³

4.4 The Bangladeshi National Period (from 1971)

In 1974 Petrobangla was established to initiate, undertake, and guide oil and gas exploration activities. Under Production Sharing Contracts (PSCs), Petrobangla

¹¹ Muni, S.D. and P. Girijesh (2005). *India's Energy Security: Prospects for Cooperation with Extended Neighborhood* (New Delhi: Rupa .Co).

¹² Jacard M. R., K. Mujibur, and J. Richards (2001). *Natural Gas Option for Bangladesh* (Centre for Policy Research IBUAT-International University of Business Agriculture and Technology, Dhaka, Bangladesh).

¹³ Muni, S.D. and P. Girijesh (2005). *India's Energy Security: Prospects for Cooperation with Extended Neighborhood* (New Delhi: Rupa .Co).

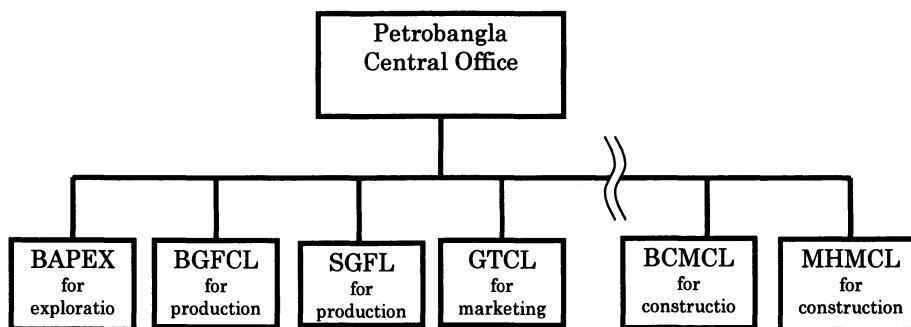
Exploration, Marketing, and Politics of Natural Gas in Bangladesh

engaged IOCs mostly from the US, Europe, Canada, and Japan.¹⁴ From 1980 to 1990, Petrobangla's exploration in the offshore area yielded very little. To increase the productivity, in 1993 Bangladesh introduced a new petroleum policy, and a model of PSCs.¹⁵ The exploration of gas gained a considerable momentum in the 1990s, thanks to innovative measures that the government introduced to reduce the risk for private investors. IOCs signed PSCs to undertake the exploration of oil and gas blocks, on a 50:50 sharing basis of the product.¹⁶

4.5 IOCs and Petrobangla's Involvement in the Oil and Gas Sector

IOCs played a crucial role in gas exploration in Bangladesh. IOCs discovered 12 gas fields having a total gas initially in place (GIIP) of 18.9 TCF (92%). Their finds have added approximately 14 TCF in total recoverable gas reserves. Petrobangla had discovered ten fields with a total of GIIP of 2.1 TCF. This is a notable achievement as Petrobangla has discovered a total recoverable gas reserve of 1.5 TCF (8%).¹⁷ Currently, there are several big IOCs operating in Bangladesh. Through its eleven subsidiaries, Petrobangla is engaged in all stages from exploration, production and marketing of natural gas. (Figure 4.1) A special department in Petrobangla deals with the IOCs.¹⁸

Figure 4.1
Companies under Petrobangla



¹⁴ Shakit: Energy and Related Information Source of Bangladesh (2002). "Hydrocarbon Exploration in Bangladesh." http://shakit.hypermart.net/fossil/hydrocarbon_exploration.html.

¹⁵ Rafiqul, I. (2002). "Status of Petroleum Exploration and Development in Bangladesh." *Conference Issues in Tokyo Japan*, Professor and Former State Minister for Energy and Mineral Resources.

¹⁶ Muni, S.D. and P. Girijesh (2005). *India's Energy Security: Prospects for Cooperation with Extended Neighborhood* (New Delhi: Rupa .Co).

¹⁷ Shamsuddin, A. H. M., Todd A. Brown and M. Rickard (2002). "Bangladesh Gas Reserve, Resource Potential May Be Underestimated: Bangladesh Gas Endowment-2." *Oil & Gas Journal*, 29, April, pp.40-43.

¹⁸ Murshid, A.K.S. and A. Wiig (2001). "A Review of Development Trends in the Energy Sector of Bangladesh: CMI Report Chr." *Michelson Institute Development Studies, Norway*.

4.6 Foreign Direct Investment (FDI) by IOCs

The energy sector is essential for macro-economic growth. Private sector interest and, concurrently, Foreign Direct Investment (FDI) in the natural gas sector increased dramatically in the 1990s when the country was divided into 23 exploration blocks.¹⁹

4.7 External Assistance and Support

Bangladesh received substantial financial assistance from the Asian Development Bank (ADB), World Bank and Japan international Cooperation Authority (JICA), and US Trade Development Agency (USTDA), Norwegian Agency, and Canadian International Development Agency (CIDA) for exploration of natural gas.

As described in this chapter the historical development of the international network worked well in oil and gas sector in Bangladesh. IOC's and international financial agencies' support resulted in the discovery of world class gas fields and huge amount of natural gas reserves. This gave Bangladesh a great hope for poverty reduction. However this momentum did not sustain after around 2000.

CHAPTER FIVE:

Unocal's Bangladesh-to-India Pipeline Project

The idea exporting gas by pipeline from Bangladesh to India is not new. It emerged as early as the 1980s. The Bangladeshi government, however, did not make a special effort to promote it because of political reasons. This chapter describes the history of Unocal's Bangladesh-to-India pipeline project, and shows that uncertainty with the government decisions lessened the enthusiasm of private investors including Unocal itself.

5.1 Unocal's Role in Bangladeshi Gas Exploration

Among IOCs operating in Bangladesh, Unocal has played a significant role in the country's gas exploration history. In 1998, Unocal discovered the world-class Bibiyana field. Shortly afterwards, Unocal announced the discovery of significant gas reserves at the Jalalabad gas field located in block 13 and of the Moulavi Bazar field situated in block 14.

5.2 Unocal's Discovery of the Bibiyana and Pipeline Proposal

In November 6, 2000, Unocal revealed its plan to lay (i) an underwater natural gas pipeline from Bangladesh to Andhra Pradesh, and (ii) another surface pipeline to Delhi through Calcutta.²⁰ Unocal's formal proposal came in late 2001. It proposed a pipeline of 1,363 kilometer (847 mile) long from the Bibiyana to Delhi through West Bengal, Bihar and Uttar Pradesh. The line was estimated to be able to earn Bangladesh extra USD 500 million a year.²¹

¹⁹ Mark, T. (2003). "Bangladesh: ANESA; Asia; South Asia; ADB." *Country Commercial Guide FY 2004: Invest Climate*,

<http://strategis.ic.gc.ca/epic/internet/inimr-ri.nsf/en/gr117680e.html>,7.

²⁰ Golam, M. (2000). "Can Bangladesh Afford to Export Gas?" *the Daily Star*, (Dhaka), 10 May.

²¹ Srinjoy, B. (2007). "Energy Politics: India-Bangladesh-Myanmar Relations." *IPCS Special*

5.3 Bangladesh-India Pipeline: a Momentous Project

The idea of building a pipeline gained a considerable momentum from 2001 because a group of local politicians, professional institutions, bureaucrats, lobbyists, and local and foreign energy experts were promoting pipeline gas exports as a profitable option. There was, however, a strong opposition from various local politicians, and professional institutions, and some energy experts who had also been on their stand on the issue of export.

5.4 Economic Prospects of a Bangladesh-to-India Gas Pipeline

According to Muni and Girijesh, as projected by HCU-NPD study for export volumes of 500 million cubic feet gas per day, the Bangladeshi government revenues range from USD 2.9 billion at the floor export price of USD 1.37 per Million British Thermal Unit (m BTU) (to USD 5.8 billion at the ceiling price of 2.96 per m BTU. If the quantum of exports is increased from 500 to 1000 million cubic feet gas per day, the revenues for Bangladesh should go up to USD 9 billion approximately.²²

5.6 Gas Pipeline Networks in Other Places

In Indian-Subcontinent the pipelines development project was not successful for political reasons. According to Haq Emanul, while new pipelines were being built across Europe, Latin America, and other parts of Asia, Indian-Subcontinent is rather behind. The proposal to build new inter-regional gas pipelines there has been, for a few decades, shadowed by regional political cloud. Proposal to carry natural gas from Middle East (Iran, Oman, and Qatar), and also central Asia (Turkmenistan) to India, and Pakistan have been pursued at the government level as well as by several IOCs. With the exception of Oman pipeline, all the pipeline projects depend on cooperation between India and Pakistan which are still now struggling.²³

This chapter described the history of Unocal's Bangladesh-to-India pipeline project, and showed that uncertainty with the government decisions lessened the enthusiasm of private investors including that of Unocal itself. Unocal, a large investor in Bangladeshi gas, has proposed to build the pipeline partly to sell the gas from its Bibiyana gas field. The pipeline could be a major boon for the company and Bangladesh gas industry.

CHAPTER SIX: Institutions in Bangladesh Natural Gas Exploration: Public Debate on Gas Export and Pipeline Project

This chapter describes the history of this debate and analyzes its social and political background. It shows that the debate accompanies political habit in Bangladesh. That habit or the rivalry between major Bangladeshi political parties is one of the most serious institutions problems behind the debate.

Report, No, 45, July 2007.

²² Muni, S.D. and P. Girijesh (2005). *India's Energy Security: Prospects for Cooperation with Extended Neighborhood* (New Delhi: Rupa .Co).

²³ Haq Emanul, H. (2002). "International Transportation of Natural Gas by Pipeline: Prospects of Bangladesh." *the Independent*, (Dhaka), 1 March. pp. 1-7.

6.1 Arguments For and Against Gas Export

The issue of gas export through a pipeline is the subject of a big debate involving domestic actors like energy experts, academics, economists, and politicians. IOCs, foreign donors, and investors, the international think tank institutions, and charity organizations are also involved. They continuously pressure domestic actors to accept Unocal's plan. This debate became too chaotic for Bangladeshi government to make a sound decision.

First, let us look at the arguments in favor of the gas export.

A. Main Arguments in Favor Gas Export

Three sets of arguments in support of the export option can be identified: First, there is sufficient gas reserve for export. Second, gas export is economically viable. Third, the demand for natural gas may decline in the future due to technological developments and new energy options.

B. Main Arguments against Gas Export

Opponents believe that in the long term the export may lead to a domestic energy shortage, for example, when Bangladesh achieves a higher degree of industrialization and development. Opponents of gas export argue that (i) the country's gas resources will quickly deplete, (ii) the priority should be given to national industry, and (iii) gas exports may lead to the Dutch Disease.

6.2 Overcoming the 'Dutch Disease'

In 2004 a measure to cure the Dutch Disease was proposed by Nobel laureate Stieglitz. He once was an opponent and firm critic of natural resource export for developing countries including Bangladesh for the fear of resource curse and other economic and political problems. A key strategy is depositing export earnings overseas, and bringing them home gradually.²⁴ If Bangladesh strictly follows his suggestion, it should not encounter a serious problem with the Dutch Disease.

6.3 Political Rivalry in Bangladesh and the Dilemma on Gas Export

Politics in Bangladesh has been dominated by two major parties for the last 20 years: the Bangladesh National Party (BNP) and the Awami League (AL). The gas export policy in Bangladesh is constrained by nationalists' priorities, and party politics. Generally all the governments have supported gas export when they are in power. AL and BNP have similar opinions about keeping certain amount of gas reserve for future domestic use and reliable estimation of the actual gas reserve before deciding on a comprehensive export policy. They differ, however, over the duration of period of years for keeping gas reserve for domestic consumption. In 1996 the AL government insisted on allowing exports only after ensuring sufficient reserves of gas for 50 years of domestic use. In October 2001, when the BNP came to the power, it gave several indications that it also was sympathetic towards the export option. BNP has even reduced this time to 20 years from 50 years.²⁵ It needs to be mentioned that the BNP denied export when it was in opposition. It gave domestic use the first priority. BNP's

²⁴ Stieglitz, J. (2004). "We Can Now Cure Dutch disease." *the Guardian*, Wednesday 18, August.

²⁵ Muni, S.D. and P. Girijesh (2005). *India's Energy Security: Prospects for Cooperation with Extended Neighborhood* (New Delhi: Rupa .Co).

suggestion was rejected by AL, then, in opposition. But AL had supported the same idea when it was in power in 2006. The two political parties are constantly bickering over whether or not to sell the reserves.

6.4 National Committee Reports and Comments

In 2001 BNP government formed two national committees for the first time to estimate the country's actual gas reserve and future projections before gas export to India. However, these national committees presented different gas reserve figures. This has created government's dilemma on the overall issue of actual gas reserve and pipe gas export to India. The final reports by the two committees recommended "limited gas export" in order to keep IOCs interests in Bangladeshi gas exploration and further development at the same time.

The dilemma faced by the government in taking a decision on gas export is a case of rather a strange politicization. The issue of gas export has been entirely depended on rivalry between these two political parties and their leaders. Ironically, each of the two major parties adopted a similar path. When they are in power, they are sympathetic to gas export and international pipelines, but when they are in opposition they strongly oppose them. Thus the two parties reverse their positions completely when they are in power and in opposition. The issues of exporting natural gas and allowing international pipelines have divided the country into two groups feeding fierce political rivalries. These painful rivalries are major challenges to a sound natural gas export policy. As a result, Bangladesh has failed so far to create a common ground for solving issues of natural gas export. However, each party when in power usually accepts the advantages of gas export. Both are also in agreement that pipeline gas export to India offer perhaps the only hope for a brighter future.

Due to political rivalries no determined clear policies developed on gas export. If the debate continues for a long time no one would be a victor in such a divisive political climate. It is, nevertheless, very clear that neither of the parties would want to adapt policies that will harm the country's economic and social prosperity. Therefore, it would be a key strategy for both the parties to put aside their political rivalries and ambitions over natural gas. If they can put aside political rivalries and short-term ambitions, they would be able to create a common ground on how to deal with the questions of gas for export. Bolivian experience may offer a lesson for Bangladeshi people to find a common ground on natural gas issues. Historically, Bolivia, has dealt with very similar issues regarding the exploration and export issue in Bangladesh.²⁶ Bangladesh can follow a referendum like in Bolivia to resolve the internal divisions over gas export to India.

This chapter described the history of gas export debate, and observed that the politicization of the gas export is one the most fundamental problems in Bangladesh. The political rivalries of two parties, BNP and AL, are major challenges to a sound natural gas export policy. As a result, Bangladesh has failed so far to create a common

Franz, C. (2004). "BOLIVIA: Deep Division over Referendum on Natural Gas." *Energy Bulletin*, 30 May.

ground to solve the issue of gas export. To solve this deadlock, Bangladesh can follow the example of Bolivia by holding a referendum on what to do with natural gas.

CHAPTER SEVEN:

Co-evolution in Bangladeshi Natural Gas Sector

7.1 The Co-evolution and Major Bottlenecks of the Bangladeshi Gas Industry

There are still some bottlenecks for a possible co-evolution in Bangladeshi gas sector. The most pressing problem in Bangladeshi gas sector is the lack of the initial knowledge and technology. Bangladesh follows classical models of resource exploitation, scale, efficiency, and quality, without innovating or upgrading these models. This seems to be a common pattern for most developing and developed countries with a colonial heritage. Over the last three decades, gas industries have been suffering from a vital brain drain and technological gap. This outcome has affected these sectors badly.

7.2 Developing Countries' Bottlenecks: (i) According to the theory of SSI, when the elements of SSI are properly coordinated, their change over time results in co-evolutionary processes. (ii) This process involves technology, demand, and knowledge base, learning processes, firms, non-firm organizations and institutions. (iii) There are several bottlenecks in SSI elements of natural gas sector in Bangladesh.

Bottlenecks in Bangladesh natural gas sector include:

(A) Bottlenecks in Knowledge Block (i) the initial knowledge and technology are not sufficient. At present the Bangladeshi gas industry is totally dependent on external sources for technology. (ii) Over the last three decades, gas industries have been suffering from a vital brain drain. This outcome has affected these sectors badly. **(B) Bottlenecks in Actors Block** (i) The state monopolies like Petrobangla rarely have experience working overseas. (ii) Mostly due to local politics the gas export issue has been heavily politicized. **(C) Bottlenecks in Institutions** (i) there is a lack of tolerance among political parties where the governing and major opposition parties are often in confrontations. (ii) Gas export is an issue of rivalry between the two major political parties. These bottlenecks in Institutions are the most serious.

7.3 A Possible Co-evolution to Overcome these Bottlenecks:

A number of obstacles need to be overcome before an international gas pipeline is built. Without significant international cooperation, the situation is unlikely to improve. If political parties put aside their differences, they may be able to find a common ground. The possible solutions facing the Bangladeshi gas industry problems in SSI blocks are: **(A) Knowledge and Technology Block** (i) Knowledge and technology policies should be addressed at local and international levels and must also reflect a good global perspective. (ii) In Bangladeshi oil and gas industries have been affected by brain drain especially over the last three decades. The situation may change if scientific research is better organized and financed. **(B) Actors and Networks Block** (i) Bangladesh's gas sector partners include the Asian Development Bank, the World Bank, JAICA, and Nordic and US geological surveys. They could assist Petrobangla in various ways by providing technical cooperation, new technology and devise some mechanism to create

Exploration, Marketing, and Politics of Natural Gas in Bangladesh

proper environment to stop brain drain. **(C) Institutions Block** (i) The politicization of gas is the most fundamental obstacle. The government, and opponents must work together to solve this problem.

This thesis used SSI approach as a framework for analyzing Bangladeshi gas sector and its problems. It systematically classified Bangladeshi gas sector's bottlenecks in each three SSI blocks. Bottlenecks in institutions block were identified the most serious challenge. If political parties put aside their differences, they may be able to find a solution. A large consensus among them is a crying need for Bangladesh at the moment.

7.4 New Policies and Strategies

To overcome these mostly politicized problems the Bangladeshi government and institutions need to develop new policies, strategies, and improve regional cooperation. First of all, the government needs to give the equal priority to the regional impact and economy. Second, Bangladesh needs to spend its gas revenues wisely.

7.5 Identification of Areas for Further Research

(a) Gas consumption growth on sectoral basis. (b) Reserves estimate using advanced technologies. (c) Impact on the gas sector if IOCs abandon their activities in Bangladesh. (d) Study of reasons for the invitations of IOCs in the 1980's and 1990's. (e) Why did Petrobangla fail to monitor the operations of IOCs under PSC? Further studies also require a multidisciplinary approach that involves engineering, geology, economics, law, environment, and politics.

There are still some bottlenecks for a possible co-evolution in Bangladeshi gas sector. There is need for developing a common ground among all political parties and Bangladeshi people. A consensus among them is a crying need for Bangladesh at the moment. If political parties put aside their differences, they may be able to find a common ground. Bangladesh can also follow the example of Bolivia in holding a referendum to resolve its outstanding disputes concerning natural gas and the internal divisions over its export to India.

CHAPTER EIGHT: Conclusion

A good example of political difficulties facing the exploration of natural gas in Bangladesh is the pipeline project by Unocal. In 2001, Unocal proposed to build a pipeline from Bangladesh to India. But it has not been built. The politicization of this pipeline project has prevented its construction so far. This thesis showed that SSI approach was useful in systematically classifying Bangladeshi gas sector's bottlenecks. SSI was also helpful for discussing how to overcome bottlenecks in the Bangladeshi gas sector. There is a need for developing a common understanding among all parties. The political party in power has the major responsibility. But opposition parties not in power also have important responsibilities. A strong consensus among them is a crying need for Bangladesh at the moment. The politicians must place national interests above their party, and personal interests. There must be a national consensus across political parties to co-operate with each other on national issues for which a degree of tolerance between political parties, and politicians with differing views is absolutely necessary. If political parties put aside their differences and political appreciations they may be able to find a common ground.

ヨハン・ベルヌーイの力学研究 18 世紀力学史における位置付けと再評価

中島研究室 野澤聡

第 1 章 先行研究の検討と研究課題の設定

本研究の目的は、これまであまり研究されてこなかったヨハン・ベルヌーイの力学研究論考の本文を読み解くことによって、ニュートンからオイラーに至る力学研究にどのような展開があったのかを具体的に解明することである。

ヨハン・ベルヌーイ (Johann Bernoulli, 1667-1748) は、微積分法と力学が形成され始めた時期に活躍した学者であり、天才一族として知られたベルヌーイ家に生まれた。彼が兄ヤーコブ (Jacob Bernoulli, 1654-1705) と研究成果を競いながら、ライプニッツ (Gottfried Wilhelm Leibniz, 1646-1716) の発明した微積分法を発展させたことや、変分法の端緒を拓いたことはよく知られている。また、彼が息子ダニエル (Daniel Bernoulli, 1700-1782)、オイラー (Leonhard Euler, 1705-1783) を始めとして多くの学者たちに微積分法や力学を教え、彼らに大きな影響を与えたことも有名である。

従来の研究におけるヨハン・ベルヌーイの評価は、微積分法や変分法などの数学研究に関する業績が中心であった。たとえば、科学思想家ギリスピーが編纂した『科学者伝記辞典 (*Dictionary of Scientific Biography*)』(以下 *DSB* と略記) のヨハン・ベルヌーイの項目では、数学に関する記述が 4 分の 3 以上を占めている。しかしながら、ヨハン・ベルヌーイの研究は微積分法や変分法などの数学分野に限られていたわけではない。先に述べたように、ヨハン・ベルヌーイが活躍した時代は微積分法と力学が形成され始めた時代であり、彼自身、現在の力学や物理学に相当する研究も盛んにおこなった。実際、彼が生前に出版した著作集では、力学や物理学を扱った論考が半分近くを占める。とくに、1710 年代半ば以降は、力学に関する論考が多数を占めるようになる。だが、従来の研究は、ヨハン・ベルヌーイの力学研究にはあまり注意を払ってこなかった。上で言及した *DSB* でも、力学研究に関する記述は 1 頁に満たず、その内容も、彼がおこなった研究の断片的な羅列に止まっている。

力学史の研究に目を向けると、従来の力学史では、18 世紀の力学研究を“ニュートン力学の解析化”とみなすものが多かった。これは、力学の基礎がニュートン (Isaac Newton, 1642-1727) で確立されたとする見方である¹。そして、ニュートン以降の力学研究は「演繹的・形式的・数学的發展」が見られるものの、力学それ自体としては見るべき発展がないと見なされがちであった。だがその一方で、ニュートンの『自然哲学の数学的諸原理 (*Philosophiae Naturalis Principia*

¹ たとえば、エルンスト・マッハ『マッハ力学史 古典力学の発展と批判』、全 2 巻、岩野秀明訳、ちくま学芸文庫、2006 年 (原著初版 1883 年) ; C. C. ギリスピー『科学思想の歴史』、島尾永康訳、みすず書房、1971 年 (原著 1960 年) ; Julian B. Barbour, *The Discovery of Dynamics: A Study from a Machian Point of View of the Discovery and the Structure of Dynamical Theories*, Cambridge, 2001.

Mathematica)』(以下『プリンキピア』)の方法や思想が、その後に展開された力学の方法や思想とは大きく異なっていたことは早くから指摘されてきた。また、フランスを始めとする大陸では哲学者デカルト(René Descartes, 1596-1650)の影響が強かったため、『プリンキピア』の導入が遅れたという見方が一般的であった²。これは奇妙な見方といわざるを得ない。『プリンキピア』はほとんどの人に理解されず、しかも現代の力学の方法や思想とは大きく異なっていたのに、発表後数十年の後には力学の基礎を確立した書物として認められたということになるからである。これは『プリンキピア』と現代の力学の間に大きな“ミッシング・リンク”があることを示しているのではなかろうか。そうであるならば、古典力学の原理が『プリンキピア』で確立したという通説には重大な問題が含まれていることになる。

『プリンキピア』の力学と現代の力学との隔たりをもっとも先鋭に指摘したのは、科学史と数理科学の両分野で多くの業績を残したトゥルーズデルである。彼は『プリンキピア』で古典力学の基礎が定まったとする従来の説を否定し、ニュートン以降も力学原理の探求が続いていたとする見方を提起した³。このような見方に立てば、ニュートン『プリンキピア』以降の力学史、とくに大陸を中心とする18世紀力学史の理解は不十分であることになる。

トゥルーズデルの力学史研究は、18世紀力学史を「合理的力学(rational mechanics)」の追究であると見なすものである。トゥルーズデルによると合理的力学は、「幾何学と同様に、明らかに真なる公理に基づき、「公理以外の力学の真理は数学的証明によって得られる」と特徴づけられる⁴。トゥルーズデルの研究に触発されて、それまでニュートンに帰されていた業績を再検討する研究も現われるようになった。だが、トゥルーズデルの提起した「合理的力学」の追究という見方には問題点があることも指摘されてきた。第一に、数学的証明に注目するだけでは、実用的・技術的背景をもつ18世紀力学研究の実態を捉え損ねてしまうというものである⁵。第二に、「合理的力学」という用語が18世紀には一般的でなく、デカルトの合理主義と混同される恐れがあるというのである⁶。

筆者の見るところ、力学史研究においては当時の学者たちが取り組んでいた具体的問題の分析がいまだに不十分なのである。本研究の第3章以下で具体的に分析するように、ニュートンが『プリンキピア』で扱った具体的問題は、ライプニッツ、ヴァリニオン(Pierre Varignon, 1654-1722)、ヨハン・ベルヌーイらによって研究され、新たな研究課題と研究成果を生み出すことに繋がった。

² たとえば、廣重徹『物理学史』、第1巻、培風館、1968年、102頁。

³ Clifford Trusdell, “A Program toward Rediscovering the Rational Mechanics of the Age of Reason,” in *Essays in the History of Mechanics*, Berlin, 1968, 85-137.

⁴ *Ibid.*, 94.

⁵ たとえば、H. J. M. Bos, “Mathematics and Rational Mechanics,” Chap. 8 in G. S. Rousseau and Roy Porter, ed, *The Ferment of Knowledge: Studies in the Historiography of Eighteenth-Century Science*, Cambridge, 1980, 327-355.

⁶ Craig G. Fraser, “Classical Mechanics,” in *Companion Encyclopedia of the History and Philosophy of the Mathematical Sciences*, ed. by I. Grattan-Guinness, New York, 1994, 2:985.

このような当時の学者たちによる具体的な問題解法の連鎖に注目するならば、力学の形成過程をより具体的に、また脈絡のあるものとして解明することが期待できるだろう。筆者が注目したのは、初期近代の科学史に関する多数の論考を発表してきたフランスの科学史家ブレの主著『解析力学の誕生 (*La naissance de la mécanique analytique*)』である⁷。この著書の中でブレは、主としてフランス語圏の学者たちが発表した力学論考に現れた具体的問題解法に注目することによって、『プリンキピア』から1720年ころまでの力学形成過程を詳細に分析している。ただし、ブレの研究では『プリンキピア』からの影響のみに考察が絞られており、トリチェリ (Evangelista Torricelli, 1608-1647) 以来ホイヘンス、ライプニッツ、ヨハン・ベルヌーイらによって追究された保存法則を用いた力学研究の展開はほとんど扱われていない⁸。本研究は、ブレが扱わなかった保存法則を用いた力学研究の展開を視野に入れ、さらにブレが扱わなかった1720年代以降の力学研究の展開を中心に分析をおこなう。

従来の力学史研究で“ニュートン力学の解析化”とともに重視されてきたのは、“世界観の対立”あるいは“力学思想の対立”という視点である⁹。ヨハン・ベルヌーイの力学研究は、主としてこのような思想的対立の文脈で言及されてきた。中でももっとも注目されてきた論争は、ライプニッツが提唱した「活力 (*vis viva*)」という概念の妥当性を巡る“活力論争”である。この論争では、運動する物体に内在すると当時考えられていた“力”が「運動量 (*quantitas motus*)」であるのか「活力」であるのかが争われたとされる。“活力論争”においてヨハン・ベルヌーイは、つねに代表的な活力擁護論者と見なされてきた¹⁰。こうした理解は、ヨハン・ベルヌーイがあたかも活力概念を擁護するために力学研究をおこなったような印象を与える。すなわち、ヨハン・ベルヌーイは「活力理論の優位性を示そうと」¹¹していたというわけである。だが、先行研究のこのような理解には重大な見落としがある。第4章以下で分析するように、ヨハン・ベルヌーイは、活力保存の法則と運動量保存の法則とを同時に用いて力学の具体的問題を解いているのである。彼が活力と運動量を同時に使っていることは、

⁷ Michel Blay, *La naissance de la mécanique analytique: La science du mouvement au tournant des XVII^e et XVIII^e siècles*, Paris, 1992.

⁸ 山本義隆『古典力学の形成 ニュートンからラグランジュへ』, 日本評論社, 1997年。ブレの研究と同様に力学の問題解法の連鎖を跡付けることによってニュートンからラグランジュまでの力学形成過程を分析した優れた研究である。だが、山本の『古典力学の形成』もブレの研究と同じくニュートンの『プリンキピア』を出発点にしているため、『プリンキピア』が引き継がなかった大陸の力学研究についてはほとんど触れられていない。

⁹ たとえば、廣重『物理学史』, 第1巻, 第4-5章; Thomas Hankins, *Science and the Enlightenment*, Oxford, 1985, Chap. 2.

¹⁰ たとえば、Calolyn Iltis, “The Decline of Cartesianism in Mechanics: the Leibnizian-Cartesian Debates,” *Isis* 64 (1973): 358; P. M. Harman, “‘Geometry and Nature’: Leibniz and Johann Bernoulli’s Theory of Motion,” *Centaurus* 21 (1977): 1.

¹¹ Giulio Maltese, “Taylor and John Bernoulli on the Vibrating String: Aspects of the Dynamics of the Continuous Systems at the Beginning of the Eighteenth Century,” *Physis* 29 (1992): 739.

両者を対立したものと見る“活力論争”という枠組みでは理解できないことである。にもかかわらず、従来の研究では、このような端的な事実が明示されてこなかった。“活力論争”という視点を前提とする限り、このような基本的な論文の構造すら理解不能になってしまうのである。

“活力論争”はまた、活力概念を擁護するライプニッツ派とニュートンの力の概念を擁護するニュートン派との間で戦わされた論争としても捉えられてきた¹²。“活力論争”がこのような対立に変化したきっかけは、ライプニッツとニュートン主義者の神学者クラーク (Samuel Clerke, 1675-1729) との間で戦わされた論争であるとされる。この論争では力学と神学との関係が問題となったため、神学上の対立がそのまま力学の対立となったという。事実、当時イギリスの学者の多くは活力概念を用いることに反対しており、中にはマクローリン (Colin Maclaurin, 1698-1746) のように“活力論争”に参戦して活力概念に反対する論文を書いた者もいたのである。

ヨハン・ベルヌーイがきわめて論争的な性格であり、ニュートンをはじめとするイギリスの学者たちを盛んに論駁していたことは有名である。したがって、一見すると、ヨハン・ベルヌーイの力学研究を理解する際にも、こうした図式を前提にして良いように思われるかもしれない。すなわち、ヨハン・ベルヌーイは、ニュートンらイギリスの学者たちと思想的・方法的に対立して力学研究をおこなったというわけである。ここでもまた、ヨハン・ベルヌーイの力学研究は、力学思想や世界観の対立という図式の中で理解されることになる。だが、このような見方には重大な問題がある。イギリスの学者たちと大陸の学者が盛んに論争しつつ、具体的な問題解法については相互に学び合っていたという点を見落としているのである。

力学思想上の論争として“活力論争”とともに注目されてきたのは、ニュートンの引力理論を巡る論争である。これは、引力理論を擁護するニュートン派と渦動論を擁護するデカルト派との間で戦わされた論争である。力学の形成過程を“ニュートン力学の解析化”と見なす立場からすると、ニュートンの引力理論の受容は、力学の発展にとって重要な前提条件となる。実際、従来の研究では、18世紀力学の形成過程はそのような筋道で描かれてきた¹³。つまり、これまでの見方では、ニュートンの引力理論に反対することはデカルト派に属する証拠であり、そのような主張は力学の発展とともに駆逐されるべきものとされてきたのである。

ヨハン・ベルヌーイは、ニュートンの引力理論に反対する論考を発表したため、デカルト派の主要な学者であると見なされてきた¹⁴。ヨハン・ベルヌーイが

¹² たとえば、Mary Terrall, *The Man Who Flattened the Earth: MAUPERTUIS and the Sciences in the Enlightenment*, Chicago, 2002, 37-41.

¹³ 廣重徹は『物理学史』第1巻第5章「古典力学の完成」の冒頭で、「18世紀の30年代まで、フランスではDescartesの自然学が支配的な権威をふるい、Newtonの受け入れに対して執拗な抵抗を行った」と述べている。

¹⁴ たとえば、廣重『物理学史』、第1巻、102-103頁；Eric J. Aiton, *The Vortex Theory of Planetary Motions*, London, 1972, 214-219, 228-239.

ニュートンの引力理論に批判的だったのはたしかである。ヨハン・ベルヌーイは1730年と1734年に発表した論文においてニュートンの引力理論を批判し、宇宙に充満する仮想的な微小物質から重力が発生するという理論を提唱した。だが、ヨハン・ベルヌーイの重力理論における渦動の位置付けを検討すると、ヨハン・ベルヌーイの理論をデカルト派の文脈で理解することは困難になる。渦動論は彼の力学において自明な存在でもなければ中心的な役割を担っていたわけでもないのである。したがって、ヨハン・ベルヌーイをデカルト的な渦動論擁護者であるとみなす従来の研究は、ヨハン・ベルヌーイの力学研究の実態を捉えそくなっている可能性が高い。

ブレが『解析力学の誕生』で詳細に分析したように、ヨハン・ベルヌーイはニュートンの『プリンキピア』を深く理解し、そこから新たな研究課題を見出して発展させている。ヨハン・ベルヌーイによるこのような研究は、従来のようにイギリスと大陸の学者間の対立を前提にするならば奇妙なことになる。思想的・方法的に相容れないはずのニュートンの力学で用いられている概念や法則を使っているからである。第3章以下で分析するように、ヨハン・ベルヌーイが具体的問題解法を追求する際には、ニュートンの力学に登場する概念や法則の利用をためらわなかったし、ニュートンを擁護する学者たちの研究成果も積極的に参照したのである。とくに1720年代後半以降は、ニュートンの『プリンキピア』に由来する概念や法則と、活力保存則のように主として大陸で展開されてきた概念や法則とを同時に使用して問題を解いている。さらに、第6章で見ると、ヨハン・ベルヌーイ最晩年の論考である「水力学 (Hydraulica)」（1742年）では、運動方程式に相当する「起動力 (vis motrix)」の定義からいわゆる“ベルヌーイの定理”が導出されている。従来の見方に従えば、ヨハン・ベルヌーイは活力概念を熱心に擁護していたはずである。その彼が最晩年になって、それまで擁護していた活力概念を捨て、いわば敵方の方法で論文「水力学」を書いたというアドホックな説明にならざるをえないであろう。このようなアドホックな説明をせざるをえないことは、これまでの思想的・方法的対立を前提とした見方では、ヨハン・ベルヌーイの力学研究を十分に分析できないことを示していると考えられる。

本研究では、これまであまり顧みられなかった、あるいは無理解のままになってきたヨハン・ベルヌーイの円熟期の力学研究(1724年から1742年ころまで)を主たる分析の対象とする。上で見たように、ヨハン・ベルヌーイの力学研究は、これまで主として“活力論争”など思想的・方法的対立という観点から研究されてきた。だが、このような観点では、ヨハン・ベルヌーイは力学の解析化という点でニュートン派に属し、ニュートンの引力理論に反対したという点でデカルト派に属し、活力を擁護したという点でライプニッツ派に属するという奇妙なことになってしまう。これに対して本研究では、方法や思想的枠組みよりも、力学の具体的な問題や研究課題およびその解法に注目して分析をおこなう。ヨハン・ベルヌーイが1724年に発表した論文には、後の力学的エネルギー保存の法則の原型である活力保存の法則を使って力学問題を解くという、力学研究の新しい方向性が含まれている。本研究では、この力学研究の新しい方

向性がどのような背景から生まれ、彼自身によってどのように展開されていったかを具体的に明らかにする。そのような作業を通じて彼の力学研究を力学史の中に位置付けることは、ニュートンからオイラーに至る力学の“ミッシング・リンク”を見出すことに繋がるであろう。

第2章 ヨハン・ベルヌーイの歴史的・社会的背景

ヨハン・ベルヌーイは、スイスの都市バーゼルの裕福な商人ニクラウス・ベルヌーイ (Niclaus Bernoulli, 1623-1708) の10番目の子供として1667年7月27日に誕生した。バーゼルのギムナジウムを卒業した後、いったんは父の命令で商売と語学の修行に出されたが、一年もたないうちに帰郷して勉強を再開し、バーゼル大学に入学した。そこで彼は12歳上の兄ヤーコブと数学の勉強に没頭していった。教養学部を卒業後は父の要望に従って同大学の医学部に進学し、1690年に指導教授エグリンガーとの共著論文「新しい仮説に基づく沸騰と発酵に関する論述 (Dissertatio De Effervescentia et Fermentatione Nova Hypothesi fundata)」を發表して医学部修了証書 (Licentiat) を取得した。彼の研究はボレリ (Giovanni Alfonso Borelli, 1608-1579) の流れを汲む“医療物理学派”もしくは“医療数学派”と呼ばれる系統に属するもので、物理学的・数学的な内容が大半を占めている。

医学部を終了したヨハン・ベルヌーイは、1690年末から約8ヵ月間ジュネーブに滞在し、その後パリに1年余り滞在して1692年末にバーゼルに戻った。この間彼は、数学者のニコラ・ファシオ (Nicola Fatio de Duillier, 1664-1753)、オラトリオ修道士で数学者のマルブランシュ (Nicolas de Malebranche, 1638-1715)、天文学者カッシーニ (Giovanni Domenico Cassini, 1625-1712)、ヴァリニョン、ロピタル (Guillaume François Antoine de l'Hospital, 1661-1704) ら多くの学者たちと交流することができた。とくにロピタルからは厚遇を受け、ロピタルの別荘に4ヵ月ほど滞在して微分算を教えた。このときにヨハン・ベルヌーイが書いた教材は、後にロピタルが史上初の微分算の教科書『曲線を理解するための無限小解析 (*Analyse des infiniment petits pour l'intelligence des lignes des courbes*)』(1696年)を執筆する際に利用された。

バーゼルに帰るとまもなく、ヨハン・ベルヌーイはライプニッツと書簡を交わし始めた。ヨハン・ベルヌーイは兄ヤーコブとともにライプニッツが『学術紀要 (*Acta eruditorum*)』誌などに発表した論文を学ぶことによって微積分の研究を始めていたが、直接書簡を交わすことによって、数学や力学など多くの分野に亘って相互に影響を与え合うことになっていったのである。

1694年にヨハン・ベルヌーイはバーゼルに大学に学位論文「筋肉運動に関する物理学的・解剖学的な論述 (*Dissertatio inauguralis physico-anatomica de motu musculorum*)」を提出して医学博士号を取得し、その6日後に妻を迎えている。

1691年以来、ヨハン・ベルヌーイは、自らの研究成果を学術雑誌であるドイツの『学術紀要』誌およびフランスの『学者ジャーナル (*Journal des Sçavans*)』誌などに発表するようになっていた。ヨハン・ベルヌーイの活発な研究活動に注目したホイヘンス (Christiaan Huygens, 1629-1695) の推薦を受けて、ヨハン・

ベルヌーイはオランダのフローニンゲン大学の数学教授職に就任することになったのである。

フローニンゲンで彼は活発な研究活動を展開して注目されるようになり、パリ、ベルリン、ボローニャ、サンクトペテルブルクの科学アカデミーやロンドンのロイヤル・ソサイエティーに外国人会員として迎えられた。だが、1905年に兄ヤーコプが病に倒れると、ヨハン・ベルヌーイは義理の父の強い要請を容れてバーゼルに戻り、ヤーコプが就いていたバーゼル大学数学教授職を引き継ぐことになった。彼がバーゼル大学で講義を始めると、ヨーロッパ各地から聴講者が集まったという。

バーゼルでのヨハン・ベルヌーイは、ギムナジウムのカリキュラム改革を提言したり、バーゼル大学の学長 (Rector) を2回務めるなど、公的な仕事にも携わった。また、彼はヨーロッパ中の学者と幅広く書簡をやり取りした。その中には、モーペルチュイ (Pierre-Louis Moreau de Maupertuis, 1698-1759) やクレロー (Alexis Claude Clairault, 1713-1765) のように、書簡のやり取りだけでは飽き足らずにバーゼルのヨハン・ベルヌーイを直接訪ねて教えを受けた者もあった。オイラーもバーゼル大学でヨハン・ベルヌーイに親しく教えを受けた学生の一人である。

ヨハン・ベルヌーイは研究活動の中で、しばしば凄まじい競争心を示した。若いころは変分法を巡って兄と激しい研究競争をおこない、晩年は力学の研究を巡って息子ダニエルに強い対抗心を燃やした。ヨハン・ベルヌーイの頭脳は晩年に至るまで明晰だったようで、亡くなる間際まで教授職を務めていた。彼が亡くなったのは、新暦1748年1月1日である。

第3章 二つの力学研究伝統とヨハン・ベルヌーイの力学研究 (1724年まで)

若き日のヨハン・ベルヌーイが最初に学んだ力学は、デカルト、ホイヘンス、ライプニッツら大陸の研究伝統¹⁵に属していた。その多くは連続体を扱うものであり、彼が初期に発表した力学論考の多くもまた連続体の問題を扱っていた。たとえば、ヨハン・ベルヌーイが1691年に発表した懸垂線の作図法や、1696年に提起した最速降下線の問題、振り子の運動などについては、ガリレオ (Galileo Galilei, 1564-1642) やホイヘンスの研究から説き起こしている。また、ヨハン・ベルヌーイが1714年に出版した著書『船の操縦法に関する新理論についての試論 (Essay d'une nouvelle Theorie de la Manoeuvre des Vaisseaux)』で論じた力の合成規則は、ステヴィン (Simon Stevin, 1548-1620)、ロベルヴァル (Gilles Personne Roberval, 1602-1675)、ニュートン、ヴァリニオンらによって研究されてきたも

¹⁵ ここでいう“研究伝統”とは、ある集団を形成する人々によって継承され発展させられてきた経験や研究の蓄積を意味する。“研究伝統”の概念規定については、L・ローダン『科学は合理的に進歩する』、村上陽一郎・井山弘幸訳、サイエンス社、1986年、106-107頁の議論を参考にした。ただし、ローダンは形而上学的な内容への関わりを重視するが、本研究では重視しない。本研究が重視するのは、どのような問題 (研究対象) をどのような仕方 (方法) で解くのかということである。すなわち、具体的な問題解決の繋がりを“研究伝統”と呼んでいる。

のだった。さらに、ヨハン・ベルヌーイはライプニッツから保存法則の概念を学んでいる。これは、デカルトが運動量保存の法則を提起したことに始まり、ホイヘンスによる衝突理論の定式化を経て、ライプニッツによる活力概念の提唱へと至っている。第4章で見るように、ヨハン・ベルヌーイはこうした保存法則を力学に適用する研究を展開することになるのである。

その一方で、彼はニュートンの『プリンキピア』を早くから研究しており、1699年以降は『プリンキピア』から研究課題を得た論文を発表するようになった。ヨハン・ベルヌーイがとくに注目したのは、『プリンキピア』第2篇で展開されている速度（またはその二乗）に比例する抵抗を受けた物体の運動であった。この問題の解法には「運動の第二法則」と求積法（quadratura）が用いられている。これは、運動方程式を積分することによって運動を求めるという、後に一般的となる解法の原型である。だが、平面幾何を用いたニュートンの解法はきわめて難解で個別の問題ごとに解法を工夫する必要があった。

この問題解法は、ライプニッツやヴァリニョンによってライプニッツ流の微積分を用いた解析化が進められたが、ヨハン・ベルヌーイは彼らの研究をさらに推し進め、1710年ごろには今日の運動方程式の原型となる式を定式化した¹⁶。こうした研究を展開した彼の力学論考からは『プリンキピア』への強い対抗意識が読み取れる。だが、ヨハン・ベルヌーイの批判は『プリンキピア』で述べられた具体的な問題解法の結論や具体的な導出方法であって、『プリンキピア』で扱われた問題の意義は認めている。つまり彼は、大陸の力学研究伝統から研究課題を継承しただけでなく、ニュートンの『プリンキピア』から研究課題をも継承したのであった。

この時期のヨハン・ベルヌーイの力学研究は、先駆者たちから得た個別の研究課題を継承発展することに止まっている。同時期に彼が兄ヤーコプと対抗しながら推し進めた等周問題（変分法）の研究のような独創性や明確な方向性はまだ見出し得ない。彼の力学研究が先駆者たちの枠組みを超えて独自の展開を示すのは、1724年以降になる。

第4章 新たな力学研究の方向性の提示

—論文「運動の伝達法則についての論議」（1724年）

第1章で見たように、従来の研究において、ヨハン・ベルヌーイの力学に言及する際にもっともしばしば利用されてきたのは“活力論争”である。そして、ヨハン・ベルヌーイはライプニッツ派の主要な論者として扱われてきた。その際にしばしば言及されてきたのが、ヨハン・ベルヌーイが衝突理論を展開した1724年の論文「運動の伝達法則についての論議（Discours sur les loix de la communication du mouvement）」である。この論文は、パリの王立科学アカデミ

¹⁶ とくに1710年から1712年にかけて『プリンキピア』第2篇の中にある抵抗媒質中で向心力を受けた物体の運動について、ヴァリニョンと交わされた20通の書簡では、この式の意味内容が繰り返し議論されている（*Die Briefwechsel von Johann Bernoulli*, Bd. 3, Basel, 1992, 300-508）。

一が1724年と1726年に提起した懸賞課題への解答としてフランス語で執筆された。この論考は1724年には次点となり、その後ヨハン・ベルヌーイが堅さと弾性に関する考察を補って1726年の懸賞課題に再び応募した際にも大賞を逃したものの、「受賞論文と同格である」と評価され、同アカデミーが受賞論文を収めた『受賞論文集 (Recueil des Pièces)』に収められた。

論文タイトルにある“運動の伝達法則”(communication du mouvement)という用語は、物体間の衝突法則を意味するものである。彼はこの論考で、二つの物体の衝突の前後において次の①～③の関係が成立すると考える。すなわち、質量がそれぞれ A , B の二つの物体の衝突前の速度を a , b とし、衝突後の速度を x , y とすると、

- ① $a - b = y - x$
- ② $Aa + Bb = Ax + By$
- ③ $Aa^2 + Bb^2 = Ax^2 + By^2$

という、三つの等式が成り立つというのである。彼はこれをそれぞれ、①相対速度の保存、②“向きの量”(quantité de direction)の保存、③活力の保存、と呼ぶ。現在の言葉でいえば、③はエネルギー保存の法則、②は運動量保存の法則となる。“向きの量”とは向きを考慮した運動量である。彼はこの三つの保存則を衝突法則として提示し、この三つの保存則を基礎にして力学上の様々な問題を解こうとしているのである。

ヨハン・ベルヌーイが活力と運動量を使っていることは、両者を対立したものと見る“活力論争”という枠組みでは理解できないことである。にも関わらず、従来の研究ではこのようなヨハン・ベルヌーイの立場が明示されてこなかった。“活力論争”を出発点とする限り、このような基本的な構造すら理解不能になってしまう。“活力論争”という枠組みから離れてヨハン・ベルヌーイがこの論考で展開した議論を追跡するならば、衝突理論の提示の先に重要な論点があることが分かる。それは従来の研究ではまったく触れられていなかったものである。ヨハン・ベルヌーイが考察している弾性衝突の法則は、ホイヘンスらによって既に解明されたものである。ヨハン・ベルヌーイが企図したのは弾性衝突の法則の解明ではなく、この法則を力学上の諸概念に関係付けて再構成し、それに基づいてまだ理解されていない現象を解明することであった。

この論文の中でヨハン・ベルヌーイは

完全な弾性をもつ粒子と粒子を隔てる小さな隙間から構成された媒質の抵抗の絶対的な効果は、この理論を適用することによって容易に決定されるだろう

と述べている。つまり彼は、空気や水のような媒質を無数の微小弾性球の集まりと見なし、微小球との衝突によって物体の運動の一部が媒質を構成する微小球の運動に伝達されるとみなすことによって、抵抗のある媒質中の運動を解明できる、という見通しを述べているのである。

三つの保存法則の式そのものは、ライプニッツからヨハン・ベルヌーイに宛てられた書簡の中に提示されたものである。だが、こうした三つの保存法則を他の力学法則と関連付けようという志向はライプニッツには見られない。また、媒質の抵抗を説明するために、媒質を微小弾性球の集まりとみなし、各衝突に保存法則を適用してその効果を足し合わせるという考え方もまたライプニッツには見られないものであった。ここにヨハン・ベルヌーイの独創を見ることができる。

ヨハン・ベルヌーイは、論文「運動の伝達法則についての論議」で提起した理論をより広範な力学問題の解法に適用できると考えていた。彼はそのような見通しを、1728年1月9日付けオイラー宛ての書簡で次のように述べている。

あなたが言及した水の流出や音速は、もちろん完成させる価値のある問題です。私の活力理論が正しく適用されれば、実験が示すことはすべて、この活力理論から導出できると信じています。

つまり、ヨハン・ベルヌーイは、この理論が正しく適用されれば、論文「運動の伝達法則についての論議」の中で提示したような問題だけでなく、水の流出や音速も含めて力学のあらゆる問題を統一的に解決できる、という楽観的な見通しをもっていたのである。このように、1724年の論文「運動の伝達法則について」は、“運動の伝達法則”で総称される保存法則を使って、力学の様々な問題を統一的に解くという新たな研究の方向性を打ち出したのである。

この論文の中でヨハン・ベルヌーイは、速度の冪乗に比例する抵抗を受ける物体の運動を「運動の第二法則」を用いて解いている。第3章で見たように、これはニュートン『プリンキピア』第2篇に登場する問題を発展させたものであった。ただし、この段階では“運動の伝達法則”を構成する保存法則と「運動の第二法則」は、それぞれ独立の法則であり、わずかに一つの例で関係付けられているにすぎない。だが、第5章以下で明らかになるように、“運動の伝達法則”と「運動の第二法則」は次第に同一の枠組みの中に統合されてゆくことになるのである。

第5章 二つの研究伝統の並列（1724年から1738年ころまで）

—活力保存の法則と「運動の第二法則」

ヨハン・ベルヌーイは1724年に論文「運動の伝達法則についての論議」の発表以降1742年に全集が出版されるまでに13篇の論文を発表した。このうち、数学に関するものは、積分やエピサイクロイドに関するものなど5篇、力学的な内容をもつものが8篇である。力学的な内容の論文のうち、2篇は『プリンキピア』の内容を発展させたといえる小品であり、4篇は第4章で“運動の伝達法則”と呼ばれた保存法則を用いて力学の問題を解いたものであり、2篇は引力理論に反対して特異な惑星運動論を展開したものであった。しかも、この特異な惑星運動論には“運動の伝達法則”の一部が用いられている。つまり、この時期のヨハン・ベルヌーイの力学研究は、保存法則を用いた問題解法が中心を占

めていたということができる。

彼が弦の振動理論を展開した論文「振動弦についての考察 (Meditationes de cordis vibrantibus)」(1728年)は弾性振動理論の先駆的業績として高く評価されてきた。けれども、これまでの研究は、この論文の数学的側面の分析に偏っており、この論文での活力保存の法則の役割といった力学的前提に関しては、十分に分析がなされたとはいえない。

第4章で分析したように、ヨハン・ベルヌーイは1724年の論文「運動の伝達法則についての論議」で新しい力学研究の方向性を打ち出した。それは運動保存と活力保存という二つの保存法則を用いて力学の問題を解こうというものであった。ヨハン・ベルヌーイの力学研究方針は、保存法則を用いているという点で大陸の研究伝統を継いだものであるといえる。実際、彼が用いた運動量の保存法則はデカルトによって提起されホイヘンスやライプニッツらによって発展させられたものであり、活力保存則はトリチェリによって原型が作られ、ホイヘンスやライプニッツらによって発展させられたものであった。

その一方で、ヨハン・ベルヌーイが論文「運動の伝達法則についての論議」の中で二つの保存法則を用いて解こうとした問題は、大陸の研究伝統で解かれてきた問題に止まらず、ニュートンの研究伝統の中で生み出された問題にまで及んでいる。第4章で扱った抵抗媒質中の運動は、第3章で見たように、彼がヴァリニオンらとニュートンの『プリンキピア』第2篇を研究する際に取り組んだ問題であった。また、振動弦の問題は、大陸の研究伝統でも取り組まれてきたが、ニュートンの研究伝統を継承したテーラー (Brook Taylor, 1685-1731) によって大きな進展が図られた問題でもあった。ここには、一つの問題を巡って異なる立場からのアプローチと研究交流が見られる。つまり、ヨハン・ベルヌーイは、運動量保存の法則と活力保存の法則という大陸の研究伝統の中で形作られた道具立てを用いて、大陸の研究伝統で追究されてきた問題だけでなく、ニュートンの研究伝統で追究されてきた問題も研究したのである。

先に第4章で見たように、新しい力学の研究の方向性を提起した当初のヨハン・ベルヌーイは、二つの保存法則のみであらゆる問題を解決しようという目論見をもっていたようである。だが、そのような目論見はすぐに放棄されることになる。振動弦の問題を解く際に、ヨハン・ベルヌーイは二つの研究伝統の道具立てを同一の問題に適用して、解法の比較検討をおこなっているが、その成果は大きなものであった。彼がかつてヴァリニオンとともに『プリンキピア』第2篇を研究する過程で見出した「運動の第二法則」を使って問題を解く際に、保存法則を用いた解法が役立ったのである。このような同一の問題を二つの方法で解くというやり方によって、ヨハン・ベルヌーイはマクローリンやヤーコプ・ヘルマン (Jacob Hermann, 1678-1733) ら同時代の他の多くの学者たちよりもよりも巧みに問題を解くことができるようになったのである。

第3章で見たように、ヨハン・ベルヌーイが『プリンキピア』の議論をライプニッツ流の微積分を使って書き換えるという意味での“解析化”は1720年ころまでに一段落していたと考えられる。1724年の論文「運動の伝達法則についての論議」以降のヨハン・ベルヌーイの力学研究は、ニュートンの『プリンキ

ピア』に由来する「運動の第二法則」を用いる方法と、保存法則という大陸の研究伝統に由来する方法を並列させながら、力学の問題解決能力を高めるというものになっていった。そして、このようなヨハン・ベルヌーイの新たな力学研究の方向性は、息子のダニエル・ベルヌーイ、ダランベール、オイラーという少数ではあるが次世代の代表的な学者たちにはその意義が理解され、受け入れられ、発展させられていったのである。

第6章 二つの研究伝統の融合に向かって（1738年ころから1742年まで）

—論文「水力学」

ヨハン・ベルヌーイが最晩年に取り組んだ水力学という領域は、ルネサンス以来なかなか解明が進まなかった手強い分野であった。だが、ひとたび息子ダニエルの手によって解答の手がかりが得られるや、水力学は力学にとっての格好のフロンティアとしての相貌を見せ始めた。

従来の見方では、ダニエル・ベルヌーイが活力保存の法則を用いて“ベルヌーイの法則”を見出し、それを父のヨハン・ベルヌーイが「運動の第二法則」から改めて導出し直すことによって一般性を高めたという理解が一般的だった。だが、この見方には、“活力論争”の残滓ともいべき素朴な二分法が前提されている。ヨハンやダニエルの研究を先入観なく検討すれば、彼らが活力保存の法則か運動方程式（「運動の第二法則」）かのどちらを選ばなければならない理由などないことは明らかである。彼らはどちらの法則も使い続けてきた。問題の特性によって解き方を変えるということはあっても、使うべき法則をアプリアリに選択するというやり方は、彼らにふさわしいものではない。

実際に彼らの研究を分析するならば、そのことはさらに明らかになる。“ベルヌーイの定理”導出という場面に限っても、彼らは「運動の第二法則」と活力保存の法則の両方を活用して研究を進めていったのだった。もちろん、両者の解法には違いがある。ダニエルの方法は活力保存の法則を主に用い、「運動の第二法則」は補助的役割にとどまっている。この問題に最初にとっかかりを得たのはダニエルであり、ダニエルの解法には、後々まで最初の手探りまたは発見法的な部分が残っていたのかもしれない。

ヨハン・ベルヌーイの方法は、活力保存の法則と「運動の第二法則」のどちらも活用しようというものだった。この問題に限ってはたまたまダニエルという競争相手が先に成果を挙げていたために、ダニエルとの違いやダニエルに対する優位性を強調しているように見えるところもある。だが、ヨハンの解法の特徴は、両方の原理で徹底的に問題を分析攻略することだったと考えられる。そのことは、彼が以前から取り組んできた力学研究を見れば分かる。彼は「運動の第二法則」と活力保存の法則のどちらでもアプローチできる問題を求めているように思われるからである。どちらの法則でもアプローチ可能という問題は、特殊なものであり、だからこそ、力学の発展には有益だったと考えられる。ヨハン・ベルヌーイは論文「水力学」でも両方の解答を比較検討している。しかも、この問題では、両者は等価ではなく、「運動の第二法則」を用いたほうが一般的な解答が可能だった。つまりこの問題は非常に有益で興味深い性質を

もっていたのである。

だが、ヨハン・ベルヌーイには水力学の研究を推し進める時間はあまり残されていなかった。論文「水力学」を発表してから6年後にヨハン・ベルヌーイはこの世を去った。水力学あるいは流体力学というきわめて豊穡な問題群を開拓する仕事は、オイラー、ダランベール、ダニエル・ベルヌーイら、次世代以降の学者たちに遺されたのである。

結論

今日の力学を知っている我々から見ると、ニュートンに由来する運動方程式と、(エネルギー保存の法則や運動量保存の法則などの)“保存法則”との間に明確な関係があることは自明である。力学の問題を解く際にはいずれも不可欠な概念であり、問題に応じてどちらの方法を選ぶかを定めることができる。とくに力学的エネルギー保存の法則の成り立つ系では、どちらも原理的には自由に選べる。だが、活力保存と運動量保存との関係を巡って“活力論争”が展開されたように、“保存法則”と運動方程式との関係も、初めから自明であったわけではない。力学において“保存法則”の位置付けが真に明確になるには、エネルギー保存の法則が確立される19世紀の半ばまで待たねばならない。そこに至るまでには“保存法則”の理解や位置付けを巡って様々な議論や試行錯誤の段階があった。本研究で分析したヨハン・ベルヌーイの力学研究は、その端緒と捉えられないだろうか。

本研究で指摘したように、従来の研究は、ヨハン・ベルヌーイの力学を分析する際に、“活力論争”や重力の原因を巡る論争のような思想的・方法的対立という文脈を重要視しすぎたために、ヨハン・ベルヌーイの論文を十分に分析したとはいえなかった。これに対して本研究は、ヨハン・ベルヌーイの論文を思想的・方法的対立ではなく、彼が取り組んだ具体的問題解法に注目して分析することによって、円熟期における彼の力学研究の展開を解明したものである。

ヨハン・ベルヌーイが初めから2種類の解法を冷静に比較していたわけではない。1724年の論文「運動の伝達法則についての論議」には、活力概念を特別視したと見なせる表現が見られる。従来の研究は、こうした表現を重視して、ヨハン・ベルヌーイが活力論者であり、ニュートンの力学の敵対者であると見なしてきた。だが、第4章で見たように、ヨハン・ベルヌーイは活力保存の法則と運動量保存の法則という二つの“保存法則”を使って力学の問題を解くという方向性を提起したのだった。そして、第5章で見たように、ヨハン・ベルヌーイは具体的な問題に対して2種類の解法を併用することによって、それぞれの解法の構造や特徴を解明していったと考えられる。ヨハン・ベルヌーイは盛んにニュートンの研究を批判したが、思想的・方法的にニュートンの力学を拒絶したわけではなかったのである。したがって、ヨハン・ベルヌーイがニュートン派に属するとか反ニュートン派に属するといった見方は、ヨハン・ベルヌーイの力学研究を理解するには無益なだけでなく、不要な予断を与えることになるといえよう。

彼の最晩年の論文「水力学」では、活力保存の法則は背景に退き、ニュート

ンに由来する「起動力の定義」（運動方程式）が前面に現れる。これまでの見方では、あたかもヨハン・ベルヌーイが思想的立場を変えたように見えるかもしれないが、そのように見る必要はまったくない。彼にとって「起動力の定義」（運動方程式）から出発する解法は、直接的であるが困難な方法であり、活力保存の法則を用いた解法によって相補い合うべきものであったのである。このように、ヨハン・ベルヌーイの力学研究は、当初は活力保存の法則に基づいて問題を解いていたのが、次の段階では、同一の問題に対して活力保存の法則を使った解法と、「運動の第二法則」（運動方程式）を使った解法の双方を比較対照し、最終的には、活力保存の法則が背景に退いていくというきわめて興味深い経緯を辿ったのである。

その後の力学史の展開を見ると、ヨハン・ベルヌーイの最終段階の路線が引き継がれていることが分かる。すなわち、弟子のオイラーはヨハン・ベルヌーイが論文「水力学」で展開した方法をさらに発展させ、力学全体の基礎方程式としていわゆる運動方程式を位置付けることになるのである。ヨハン・ベルヌーイはニュートンの力学を所与のものとして解析化したのではなかった。むしろ逆に、大陸の力学研究伝統を所与のものとして、徐々にニュートンの力学の原理を融合させていったのである。

ここで本研究で得られた知見をもとに、トゥルーズデルの提起した「合理的力学」という概念を再検討してみたい。第1章で見たように、トゥルーズデルは従来あまり研究が進んでいなかった18世紀力学史を解明する基本方針として、「合理的力学」という概念を導入した。これは、当時の学者たちが証明を重視することによって力学研究を推進したという考えに基づくものである。トゥルーズデルの導入した「合理的力学」という概念によって、18世紀力学史に大きな展望が与えられたのはたしかである。トゥルーズデル以降には、それまで見落とされていた個々の具体的な力学論考を読み解くことによって、力学研究の実態に光を当てる研究が登場したことも、第1章で見たとおりである。

だが、18世紀力学を「合理的力学」として研究するという方針には問題もある。第1章で指摘したように、「合理的力学」という規定は力学の数学的側面のみを取り出したものであり、18世紀の力学研究の実用的・技術的背景が見落とされてしまうことになる。本研究では力学の実用的・技術的背景そのものを分析の対象とはしていない。それでも、個々の具体的な力学論考を分析の主たる対象にしたことによって、「合理的力学」という概念の問題点が浮かび上がってくるようになった。それは、力学研究には解決すべき具体的問題という研究対象と、問題解法の出発点となる法則や原理のような研究方法の二つの側面があり、「合理的力学」という概念は後者の研究方法にのみ関わっており、前者の研究対象については捨象されてしまっているということである。

第3章で見たように、18世紀初頭の力学には、大別すると大陸の研究伝統とニュートンが創始した研究伝統の二つがあった。それぞれの研究伝統には基本的な研究方法と研究対象を備えていた。本研究の第4章以下で見たように、ヨハン・ベルヌーイはそれぞれの研究伝統から研究方法と研究対象を引き継いだだけでなく、1724年以降は二つの研究伝統の方法と対象を次第に融合させてい

った。その際明らかになったのは、先駆者たちからヨハン・ベルヌーイへ、そしてその後継者たちの力学研究において、研究の方法と対象が次第に変化していったことである。

たとえば振子の問題は、ガリレオ以来、大陸の研究伝統の主要な研究対象であった。ただし、ガリレオからホイヘンス、ヨハン・ベルヌーイへと至る過程で、それを研究する方法も対象も大きく変化していった。ガリレオには幾何学と落下法則などの簡単な比例法則で単振子を分析した。ホイヘンスは、トリチェリの考えを発展させた「物体の落下と上昇の可逆性」という原理を導入して、実用的な複合振子の運動をより正しく分析することに成功した。ヨハン・ベルヌーイはニュートンの力学から「運動の第二法則」などを学び、ライプニッツから保存法則を学ぶことによって、より複雑な複合振子の運動を系統的に研究することができるようになった。こうした力学研究の連続性と変化を把握するためには、力学研究の方法だけでなく研究の対象も視野に入れる必要がある。これに対して「合理的力学」という視点では、力学研究の方法の変化は追うことができても、研究対象の変化は捉えられない。したがって、「合理的力学」という概念だけでは18世紀力学を研究するには不十分なのである。

最後に、ニュートンとオイラーの間の“ミッシング・リンク”について筆者の考えを簡単に述べておきたい。先に「合理的力学」という概念の問題点を指摘した際に、振子という問題を例にして、ガリレオからホイヘンスを経てヨハン・ベルヌーイへと至る間に研究方法と対象が変化していったことを説明した。この例でも分かるように、力学の研究は、方法と対象が少しずつ変化することによって発展してゆく。第3章で分析したように、ヨハン・ベルヌーイは、大陸の研究伝統とニュートンの力学研究伝統から力学の研究方法と研究対象を継承した。そして第4章以下で見たように、1724年以降は、二つの研究伝統を次第に融合させることによって、力学の研究領域を拡大させていった。彼が最晩年に発表した論文「水力学」は、「運動の第二法則」と活力保存の法則という二つの研究伝統から学んだ方法を同時に用いて、それまでどちらの研究伝統でも扱うことが困難だった水の運動について、“ベルヌーイの定理”という基本法則を打ち立てることに成功したものである。オイラーやダランベール、ダニエル・ベルヌーイら次世代の学者たちは、ヨハン・ベルヌーイの力学研究方法と研究対象の双方を学び、それぞれの力学研究を進めていった。このように、ガリレオ以降の力学研究には、研究の方法と対象の連鎖がたしかに存在しており、本研究はその連鎖の一端を明らかにしたとすることができる。今後はこれまであまり意識されることのなかった大陸の研究伝統からの流れを視野に入れて、この“ミッシング・リンク”の実態をさらに追究するとともに、18世紀後半の力学への展開を解明してゆくことが求められよう。

Johann Bernoulli's Research on Mechanics: Reexamination and Reevaluation in 18th Century Mechanics

NOZAWA, Satoshi

Abstract

This thesis is aiming at studying a “Missing Link” in history of mechanics at the beginning of the 18th century. In a traditional view, many historians have claimed that Newton established the foundation of mechanics. But Truesdell, who was a former editor of *Leonhardi Euleri Opera Omnia*, proposed an alternative and excellent view. He argued that classical mechanics started with Euler's formation of the equation of motion. However, from this point of view, the gap between Newton's mechanics and Euler's seems considerably large. My dissertation is an attempt to fill the gap by reexamining Johann Bernoulli's research on mechanics.

While Johann Bernoulli is a well-known and highly appreciated mathematician, his research on mechanics have been studied little. It is partly because his mechanics has been regarded as an inconsistent aggregation of Newtonian, Leibnizian and Cartesian physics. This study is to show that Johann Bernoulli stood between Newton and Euler, and that Johann's research connected Newton's mechanics and Euler's by focusing on Johann Bernoulli's neglected works on mechanics after 1724.

Johann Bernoulli presented a new approach to solve mechanical problems; using both the conservation of momentum and the conservation of living forces in his “Discours sur les loix de la communication du mouvement” (1724). This new approach was modified in his later works. He solved one problem in two ways and published them together; (1) the solution using the conservation of living forces and (2) the solution using Newton's second law of motion.

In an article issued in 1735, the relation between two solutions became clearer. He treated the conservation of living forces as a heuristics and Newton's second law of motion as a fundamental law of mechanics. As a result, compatibility of the two laws (i.e., the conservation of living forces and Newton's second law of motion) was established. Such an understanding of these laws is quite different from the traditional view that the one was derived from the other.

In traditional history of science, it has been believed analytical mechanics emerged as a result of applying calculus to Newton's *Principia*. But in reality, the formation process of analytical mechanics was quite different from the traditional view. It was formed by embedding Newton's *Principia* to Continental tradition of mechanics. Johann succeeded both Continental tradition and Newton's, and merged them in one. Johann's importance was recognized by his successors. It is well-known that Euler highly praised Johann's solutions in “Hydraulica” (1742) which used Newton's second law of motion and that Euler formulated the equation of motion as “un nouveau principe de mecanique” in 1750. On the other hand, Johann's son Daniel and d'Alembert recognized the importance of the conservation of living forces.

投稿規定

1. 本学で研究・教育に携わる者は投稿することができる。その他、編集委員会が必要あるいは適切と判断した場合も本誌に投稿することができる。
2. 投稿の種類は、論文、寄書・資料紹介、研究ノート、修士・博士論文概要等とする。
3. 原稿の掲載の可否は審査を経て決定するものとする。論文審査は、編集委員もしくは、編集委員会が必要と判断した場合は、別に適切な審査員を選んで行う。
4. 原稿の分量は注や図表も含めて 40,000 字を一応の限度とする。
5. 原稿は 3 部提出し、著者は手元にオリジナルを必ず保管する。また、原稿の電子ファイルを収めた電子媒体(フロッピー・ディスク、CD-ROM 等)を提出する。投稿した原稿・電子媒体は返却しない。
6. 原稿は下記宛に送付する。
〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1 東京工業大学大学院 社会理工学研究科
経営工学専攻 技術構造分析講座 大岡山西 9 号館『技術文化論叢』編集委員会
7. 掲載された文書の著者には掲載号を 3 部贈呈する。
8. 発行後に訂正を要する事項が生じた場合には、できるだけ早く文書で編集委員会に申し出る。
9. 本誌に掲載された文書の著作権は『技術文化論叢』編集委員会に帰属する。他に転載しようとする場合には、あらかじめ編集委員会に申し出て許可を受けなければならない。
10. 本誌に掲載された文書は、一定期間を経た後、技術構造分析講座のホーム・ページにおいて公開される。URL：<http://www.histec.me.titech.ac.jp/course/index.html>
11. 原稿の作成は次のようにおこなう。
 - (1) 原稿は、原則としてワード・プロセッサを用いて作成する。使用するソフト・ウェアは、一般に広く普及しているものが望ましい。
 - (2) 用紙は A4 サイズのものを横書きで使用し、1 ページあたり 35 字×40 行を目安とする。左右 3cm、上下 3.5cm の余白をあける。
 - (3) 原稿の冒頭に和文表題・著者名を入れる。また、著者の所属機関名など連絡先を脚注に記す。
 - (4) 英文表題とローマ字による著者名を付記する。
 - (5) 論文には 250 語以内の欧文要旨をつけることが望ましい。
 - (6) 句点はコンマ(,)、終止点はピリオド(.)を用いる。
 - (7) 文中の引用文は「」の中に入れる。長い引用文は本文より 2 字下げて記入する。
 - (8) 図表には表題をつけ挿入個所を指定する。説明文は挿入個所書き入れる。図表は白黒のみとし、そのまま写真製版できるような鮮明なものを使用する。カラーの図表は受けつけない。
 - (9) 引用文献の記載においては、辞典を確認できるような十分な書誌データを記す。書き方は以下の例に準じる。

<書籍>

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

<論文>

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

この投稿規定は 2005 年 4 月 1 日以降から適用する。

『技術文化論叢』編集要綱

1. 発行趣旨

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

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

2. 発行主体

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

3. 編集組織

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

4. 発行回数

原則として年1回とする。

5. 投稿資格

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

6. 審査

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

7. 掲載投稿の種類

論文、寄書・資料紹介、研究ノート、修士・博士論文概要等とする。

8. 次号(第14号)の原稿提出締め切りは、2011年1月7日とする。

『技術文化論叢』第13号(2010年)

2010年4月1日発行

編集：技術文化論叢編集委員会

編集委員長：ヤコブ・ベクタス (Yakup Bektas)

編集委員：八巻俊憲、野澤聡、栗原岳史、和田正法、古谷紳太郎、大森仁

発行：東京工業大学大学院社会理工学研究科経営工学専攻

技術構造分析講座

〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1

URL : <http://www.histec.me.titech.ac.jp>

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

印刷：国際文献印刷社

Contents

< Research Notes >

| | |
|---|---|
| A Note on the Original Texts for the Japanese Translations of <i>Philosophiae Naturalis Principia Mathematica</i> SUGIMOTO, Takeshi..... | 1 |
|---|---|

| | |
|--|----|
| Science and its Bases: An Institutional Approach to History of Science YAMAZAKI, Masakatsu..... | 15 |
|--|----|

< Short Summaries of The New Dissertations >

| | |
|--|----|
| A Historical Study on the Influence of Meiji Japan on the Formation of Modern Science and Technology in China: The Case of Zhili Arts and Craft Bureau in the Late Qing Dynasty XU, Heng..... | 29 |
|--|----|

| | |
|---|----|
| A Study of Paraconsistent Logic PCL1 OMORI, Hitoshi..... | 34 |
|---|----|

| | |
|---|----|
| Exploration, Marketing, and Politics of Natural Gas in Bangladesh, 1971-2008 Md. Mamunur Rashid..... | 44 |
|---|----|

| | |
|--|----|
| Johann Bernoulli's Research on Mechanics: Reexamination and Reevaluation in 18th Century Mechanics NOZAWA, Satoshi..... | 56 |
|--|----|

TITech Studies in Science, Technology and Culture

No. 13 (2010)

Tokyo Institute of Technology