

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 20 日現在

機関番号：32503

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2009～2012 年度

課題番号：21700840

研究課題名（和文）19 世紀における技術者への熱学の普及と蒸気機関への応用について

研究課題名（英文）On Popularization of Theory of Heat among Engineers and its Application to the Steam Engine in the 19th Century

研究代表者

小林 学 (KOBAYASHI MANABU)

千葉工業大学・工学部・助教

研究者番号：60447555

研究成果の概要（和文）：最新の蒸気機関の実験場であった英国コーンウォール地方の技術者・科学者コミュニティの中心人物であったデービス・ギルバートに特に着目した。ギルバートは、熱物質説を支持していた可能性が高いこと、デービー、ランフォード伯、ヘラパスの熱運動説は、当時最新の蒸気機関の開発に影響を及ぼしていないと考えられること、科学・技術のパトロンとしてのギルバートだけではなく、技術者からギルバートへの科学・技術情報の提供があったこと、「蒸気機関の理論」の修正に際し、実際の高圧蒸気機関とその性能を測定するインジケーターがその基礎となったことなどを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：I focused on Davies Gilbert who was a central figure among Cornish engineers and scientists. Gilbert must have supported caloric theory. Although Davy, Count Rumford and Herapath advocated kinetic theory of heat, this theory was not applied to the cutting-edge steam engine at that time. According to some previous study, Gilbert was likely to a patron of engineers and scientists. However Arthur Woolf reported adiabatic expansion of high-pressure steam in cylinders to Gilbert. That is to say, engineer did not only get coaching from scientist, but also engineer inform scientist of scientific knowledge. “Theory of the Steam Engine” which was based on caloric theory was popular among engineers in 1830-40’s and “Theory of the Steam Engine” was corrected by some engineers to adjust the real high-pressure steam engine. These engines and indicators were based on this correction.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2010 年度	500,000	150,000	650,000
2011 年度	500,000	150,000	650,000
2012 年度	100,000	30,000	130,000
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：科学社会学・科学技術史

キーワード：蒸気機関，熱素説，熱力学，コーンウォール，Davies Gilbert, Jonathan Hornblower, Richard Trevithick, Arthur Woolf

## 1. 研究開始当初の背景

研究開始当初の当該研究に関する状況だが、いわゆる科学の学説史では、熱の理論と

蒸気機関との関連はうまく説明されていなかった。蒸気機関が熱力学成立の源であったという言説は、科学史技術史研究ではおなじ

みの物ではあるが、それについての研究はカードウェルによる研究(特に D.S.L. Cardwell, *From Watt to Clausius: The Rise of Thermodynamics in the Early Industry Age* (1971)) 以外にはほぼない。だが、そのカードウェルであっても 19 世紀英国の著名な技術者の熱と水蒸気に関する自然科学的な理解については、不十分にしか扱われていなかった。

さらに熱力学成立前の熱理論と蒸気機関発達との関連については、ほとんど明らかになっていなかった。19 世紀以降、コーンウォール地方を中心に高圧蒸気機関の開発が始まるが、当時は熱素説という今日から見れば誤った理論が信じられており、それに基づいて蒸気機関の性能などが検討されていた。

私は、研究開始当初、熱素説を基礎とする蒸気機関の理論は水車といった水力機関から多くのアイデアを得ていたと考えた。特に水圧と蒸気圧とのアナロジーについて、着目していたが、それについて研究をしていきたいと考えていた。

## 2. 研究の目的

以上のような問題意識から当該研究では、19 世紀の技術者・科学者が持っていた熱と水蒸気に関する自然科学的理解がどのようなものであったのか、そして、それが具体的な蒸気機関の設計・製作などにどのような影響を及ぼしたのかを明らかにすることを目的とした。

## 3. 研究の方法

本研究は、史料に基づく実証的な歴史研究である。当時の技術者の熱と蒸気に関する理解を調査するため、必要な資料を収集した。19 世紀の科学および工学系の学術雑誌は、日本国内の図書館にも所蔵があるので、それらを活用した。古い書籍は次々とインターネットでアップロードされており、それらも積極的に活用した。

また当該研究の加速度的進捗を図るため、英国を複数回訪問し、資料収集および現地の機械などの視察を行った。特に英国コーンウォール地方の訪問は研究の方向性に大きな影響を与え、コーンウォール地方を当該研究の主たる対象とすることになった。Royal Institution of Cornwall の図書館には、トレビシックやホーンブローラ技術者がギルバート(ギディ)とかわした書簡が、また Cornwall Record Office には、ギルバート(ギディ)の日記を含む彼に関する膨大な資料があり、その一部を複写した。これら資料は当該研究の進捗に大きく前進させた。

また国内の学会および国際会議にて発表し、国内外から広く意見を求めた。

## 4. 研究成果

### (1) デービス・ギルバートの熱理論

研究を進めていく内に、イギリス・コーンウォール地方での蒸気機関開発に着目した。

コーンウォール地方は金属鉱山地帯で石炭を産出しないため、蒸気機関の熱効率を改善する需要があったことはよく言われてきた。しかしながら、このような背景だけでは、熱に関する科学と蒸気機関との関係を論じるには不十分であると考えた。実際に科学と技術を具体的に橋渡しする人物や人的ルートが存在していたのであり、その中心的人物がデービス・ギディ(Davies Giddy, 1767-1839, 後のデービス・ギルバート Davies Gilbert)であった。ギルバート(ギディ)を中心とした人的ルートを通じて彼らは技術情報や自然科学的知識を共有しており、こういった人的関係が当時の蒸気機関の理論形成に影響を与えたものと考えている。

では、ギルバート(ギディ)はどのような熱理論をもっていたのだろうか。それは技術者に伝えられていたのだろうか。

ギルバート(ギディ)の熱理論については、現状、研究が継続しているので、まだ断言は差し控えたいが、例えば、ギルバート(ギディ)からホーンブローラ(Jonathan Hornblower, 1753-1815)に宛てた 1791 年 6 月 5 日付けの手紙では弾性気体の膨張力についてギルバート(ギディ)の見解が詳細に述べられている。その内容からは熱物質説の影響が強く認められる。

### (2) 熱運動説の登場

一方、コーンウォール地方を中心とした技術者・科学者コミュニティのうち中心人物の一人がハンフリー・デービー(Humphry Davy, 1778-1829)である。デービーは熱運動説を唱えており、またランフォード伯(Benjamin Thompson, Count Rumford, 1753-1814)や Royal Institution との関わりを持っていたので、熱運動説と蒸気機関との関係についても手紙のやりとりなどを通じた人的関係を含めて検討した。

1798 年 4 月 14 日付けのベドーズからギルバート(ギディ)に宛てた手紙では、ランフォード伯の熱運動説に言及している。デービーは氷同士を摩擦によって溶かしたという熱運動説を支持する論文“An Essay on Heat, Light and the Combinations of Light,”をベドーズの雑誌 *Contributions to Physical and Medical Knowledge, Principally from the West of England* から 1799 年に出版するが、1798 年 6 月にはその原稿が完成している(そのデービー直筆の原稿は、Royal Institution of Cornwall に所蔵されている)。この原稿に喜んだベドーズは、ランフォード伯の論文をデービーに送付している。

1798年11月5日付けのギルバート(ギディ)からサンベリーへの手紙でもランフォード伯とデービーの研究について言及し、摩擦と運動によって熱が発生すると述べた。

以上のように、ランフォード伯とデービーの熱運動説は1798年にギルバート(ギディ)に伝達されていた。

しかしながら、熱運動説と熱物質説のどちらを採用するかどうかで1800年前後の蒸気機関技術の展開に何か異なる結果を与え得ただろうか。現在の私の研究進捗の状況でそれを想像することは極めて困難である。

一方で、高圧蒸気機関の優位を気体粒子運動の立場から明らかにした人物がいた。それはジョン・ヘラパス(John Herapath, 1790-1868)である。ヘラパスは、気体粒子の運動量  $mv$  に気体の圧力が比例すると考えた。1820年、ヘラパスは *Philosophical Transactions* に論文を投稿したが、デービーは熱を粒子の振動・波動のようなものだと考えていて、ヘラパスのような空間を自由に運動する粒子を想定しなかった。結局、このヘラパスの論文は採択されず、*Annals of Philosophy new series vol.1(1821)*に掲載されることになった。

またカードウェルが指摘によれば、ランフォード伯は技術者とほとんど関わりを持たなかったとのことである。

以上を総合すると、熱運動説はそれを支持していた研究者の中でも意見が一致していなかったし、当時、熱運動説が技術者一般に影響を与えたと考えるのは無理があろう。

### (3) ウルフからギルバートへの情報提供

これまでの科学史技術史研究において、ギルバート(ギディ)は技術者科学者のパトロンとして描かれてきた。しかし、ギルバート(ギディ)という科学者から一方的に技術者へ情報が提供されていないことを発見した。

1827年12月29日付けアーサー・ウルフからギルバート(ギディ)への手紙では、二つのインジケータ線図が付けられていた。一つは、7.5psiの蒸気は元の体積の5.72倍に膨張するもので、ウルフが発見したと信じた蒸気の膨張力に関する「ウルフの法則」( $x$  psiの水蒸気は元の体積の  $x$  倍まで膨張する)を証明するものだとウルフは考えた。「ウルフの法則」は水蒸気の膨張力を過剰に見積もるものだった。もう一つの図では、50psiの蒸気が元の体積の5.57倍までしか膨張していない。ウルフは、この原因として、温度が低下して凝縮が起こったためだとしている。

ウルフからの情報は、**技術者**による水蒸気の断熱膨張とそれに伴う温度降下および水蒸気の凝縮についての最初の報告であることを指摘しておきたい。

本研究では、コーンウォールでの蒸気機関開発において、科学者→技術者への一方的な

科学的知識の伝達ではなく、技術者→科学者への科学・技術情報の伝達もあったことを明らかにした。

### (4) 熱素説を基礎とした「蒸気機関の理論」の確立

1830年代までに熱素説を基礎とした「蒸気機関の理論」が広く技術者たちの間に知られるようになった。その代表的な主導者はド・パンブール(François Marie Guyonneau, le Comte de Pambour, 1775-?)である。パンブールは実物の蒸気機関の動作を理論化しようとして試みたことは、何人かの研究者によって指摘されているが、私は、インジケータも「蒸気機関の理論」の確立に影響を与えたと考えている。

ジェームズ・ワット(James Watt, 1736-1819)やジョン・サザン(John Southern, 1758-1815)によって発明されたインジケータは長くボルトン・ワット社の企業秘密になっていた。その秘密を広めた一人がジョシュア・フィールド(Joshua Field, 1786-1839)であると考えられる。フィールドはボルトン・ワット社と競争しており、英国土木技術者協会(Institution of Civil Engineers)を設立した構成員のうちの一人でもあった。

ギルバート(ギディ)は1825年6月4日付けで英国土木技術者協会会長トーマス・テルフォード(Thomas Telford, 1757-1834)に手紙を書き、その中でコーンウォール機関の性能について言及している。同協会に保存されている書簡を読むと、ギルバート(ギディ)の字が相当に読みにくいいためか、フィールドによる未完の清書が残っていた。

同協会は、1836年から *Transactions of the Institution of Civil Engineers* を発刊した。この雑誌に掲載された蒸気機関に関する論文数から当時の同協会会員の蒸気機関に相当な興味を持っていたことようである。

当時、英国土木技術者協会は、技術者間に最新の蒸気機関情報を提供する手段として機能していた可能性がある。

ウィリアム・ポール(William Pole, 1814-1900)は、1843年の論文でナビエやパンブールによる水蒸気の圧力と体積についての理論の修正を試みた。1849年に *A Treatise on the Cornish Pumping Engine, Part III* を出版し、「蒸気機関の理論」と実際の測定値との差を無くそうと試み、新たな水蒸気の圧力・体積の関係式を見いだそうとした。さらにヘッペルとテートは1847年に水蒸気の膨張に関する法則を発見しようとして試みた。そういった試みが可能であった理由は、インジケータによって具体的な測定値が得られたからに他ならない。コーンウォール機関のような高圧機関とインジケータは、「蒸気機関の理論」の修正のための具体的な事実を提供し

た。

#### (4) 結論

本研究では、デービス・ギルバート(ギディ)を中心とする技術者・科学者のコミュニティに着目し、彼らの科学・技術情報の伝達経路を調査し、自然科学的知識と蒸気機関開発との影響関係を調べてきた。

18世紀末から19世紀初頭にかけてのギルバート(ギディ)を始めとした科学者は、熱物質説を基礎に蒸気機関の理論を考えていた。一方、18世紀末、熱運動説も登場してきたが、それは蒸気機関開発にほとんど影響を与えなかったものと思われる。(ただし、これについては今後も継続して研究したい。)

これまでギルバート(ギディ)は技術者・科学者のパトロンとして描かれてきたが、アーサー・ウルフからギルバート(ギディ)へ水蒸気の断熱膨脹に関する報告がされており、科学者→技術者への一方的な科学的知識の伝達ではなく、技術者→科学者への科学・技術情報の伝達もあったことを明らかにした。

熱素説を基礎とした「蒸気機関の理論」は、特にド・パンブールのものがよく知られているが、理論と実測データのギャップを埋めようとウィリアム・ポールらによって修正が試みられた。コーンウォール機関のような高圧蒸気機関とインジケーターは、そのための具体的なデータを提供した。具体的なモノが、理論を支持していたのである。

#### (5) その他の業績

蒸気機関に関する技術史研究の今までの展開・現状および課題について、自らの見解を『科学史研究』第52巻265号、2013年、1-4頁に述べた。その中で蒸気機関技術発展における科学と技術の相互関係についての歴史研究が最近提出されていること、およびこの問題は史実を基礎とした研究によって解決すべきであることを主張した。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計4件)

[1]: 小林 学「蒸気機関技術史概論」『科学史研究』第52巻265号、2013年3月26日発行、1-4頁 (査読なし)

[2]: 小林 学「19世紀中葉までの「蒸気機関の理論」の物質的基礎」『科学史研究』第50巻259号(2011年9月27日発行)165-169頁 (査読なし)

コーディネーター: 野澤 聡, パネリスト: 隠岐さや香, 野澤 聡, 中澤 聡, 小林 学「シンポジウム: 物質・技術文化からみた近

代数理諸科学の展開(1660-1840) —2011年度年会報告」

※小林 学「19世紀中葉までの「蒸気機関の理論」の物質的基礎」日本科学史学会第58回年会シンポジウム「物質・技術文化からみた近代代数理諸科学の展開(1660-1840)」東京大学駒場Iキャンパス、2011年5月29日の報告書

[3]: 小林 学「デービス・ギルバートとコーンウォールの技術者たち—動力技術開発における技術者と科学者との交流」『科学史研究』第50巻258号(2011年)、122-125頁。(査読なし)

コーディネーター: 野澤 聡, パネリスト: 中澤 聡, 野澤 聡, 但馬 亨, 隠岐さや香, 小林 学「シンポジウム: 18世紀科学史に見る理論と実践の相互作用—2010年度年会報告—」『科学史研究』第50巻258号(2011年)111-125頁の一部。

※小林 学「デービス・ギルバートとコーンウォールの技術者たち—動力技術開発における技術者と科学者との交流」日本科学史学会第57回シンポジウム「18世紀科学史に見る理論と実践の相互作用」東京海洋大学品川キャンパス、2010年5月30日の報告書

[4]: 小林 学「19世紀後半の船用ボイラ発達における鋼の重要性について」『科学史研究』第49巻254号(2010年6月)、46-77頁。(査読あり)

[学会発表] (計6件)

[1]: Manabu KOBAYASHI, “Davies Gilbert’s theory of heat and steam: the diffusion of scientific knowledge among scientists and engineers,” *24th International Congress of History of Science, Technology and Medicine*, 22 July 2012, The University of Manchester, Manchester, UK

[2]: 小林 学「デービス・ギルバートの熱と水蒸気の理論—科学者と技術者間の知識の伝播」日本科学史学会第60回年会一般講演、東京都・日本大学商学部、2013年5月26日

[3]: 小林 学「コーンウォールの技術者たちの熱理論と熱運動説」日本科学史学会第59回年会一般講演、三重県・三重大学生物資源学部校舎、2012年5月26日

[4]: 小林 学「19世紀中葉までの「蒸気機関の理論」の物質的基礎」日本科学史学会第58回年会シンポジウム「物質・技術文化からみた近代代数理諸科学の展開(1660-1840)」東京大学駒場Iキャンパス、2011年5月29日

[5]: 小林 学 「デービス・ギルバートとコーンウォールの技術者たち—動力技術開発における技術者と科学者との交流」 日本科学史学会第 57 回年会シンポジウム 「18 世紀科学史に見る理論と実践の相互作用」 東京海洋大学品川キャンパス 2010 年 5 月 30 日

[6]: 小林 学 「熱素説とワットの法則—高圧蒸気機関への希望と挫折」 日本科学史学会第 56 回年会一般講演, 福岡県・九州大学箱崎キャンパス, 2009 年 5 月 23 日

[7]: Manabu KOBAYASHI, “Caloric Theory and Watt's Law: High Hopes for the High Pressure Steam Engine in the Early 19th Century,” *XXIII International Congress of History of Science and Technology*, 1 August 2009, Budapest University of Technology and Economics, Budapest, Hungary

〔図書〕 (計 1 件)

[1]: 小林 学 『19 世紀における高圧蒸気原動機の発展に関する研究—水蒸気と鋼の時代』 北海道大学出版会, 2013 年 2 月

〔その他〕

ホームページ等

[http://sky.geocities.jp/life\\_is\\_beautiful\\_2009/research/arch.htm](http://sky.geocities.jp/life_is_beautiful_2009/research/arch.htm)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

小林 学 (KOBAYASHI MANABU)

千葉工業大学・工学部・助教

研究者番号: 60447555

### (2) 研究分担者

( )

研究者番号:

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号: