

## ファラデーの自己研鑽と研究態度

### Faraday's Self-Education and Research Style

金児 紘征\*

Hiroyuki KANEKO\*

Received March 23, 2017; Revised August 23, 2017

#### 1. はじめに

ファラデー (Michael Faraday, 1791 – 1867) は、立て続けに大発見をした 19 世紀前半の大科学者である。その学問的業績のみならず、彼の自己研鑽の歩みとその研究態度には深い感銘を覚える。自己研鑽の努力と信仰心に基づく真摯な研究態度があったからこそその学問的業績とも思える。なかなか真似のできることはないが、学ぶことが多いと思う。本稿では、それらの事柄を紹介したい。

なお、執筆にあたり、ファラデーの原典の他に、主に次の著書を参照した。

Tyndall<sup>1)</sup> はファラデーの科学研究に着目したエッセイ風の伝記、“Faraday as a Discoverer”、Jones<sup>2)</sup> はファラデーの自己研鑽の過程に着目した伝記、“The Life and Letters of Faraday” を書いた。Gladstone 本<sup>3)</sup>、“Michael Faraday”は、Tyndall 本と Jones 本を補完する副読本であり、Gladstone 自身の個人的思い出を多く述べている。Tyndall, Jones, Gladstone はファラデーと親交があった。Williams<sup>4)</sup> はファラデーの研究を詳しく解説した伝記、

“Michael Faraday” を書いた。Cantor<sup>5)</sup> は、“Michael Faraday: Sandemanian and Scientist” で信仰者としてのファラデーと科学者としてのファラデーを比較考証した。Jenkins の編集本<sup>6)</sup>、“Michael Faraday's Mental Exercises” は知的能力の向上に関するファラデーの発表資料集である。Gooding らの編集本<sup>7)</sup>、“Faraday Rediscovered” は現代の視点によるファラデーの再評価論考集であり、この本の末尾には詳しい文献リストが付いている。Watts の著書<sup>8)</sup>、“On the Improvement of the Mind”



ファラデー肖像画  
(Wikimedia Commons より)

\*秋田大学工学部物質科学科 (〒010-8502 秋田市手形学園町 1-1) Department of Material Science Faculty of Engineering Science, Akita University (1-1 Tegata Gakuen-machi, Akita City, 010-8502, Japan)

////////////////////////////////////// *Polarography Lounge* //

は、ファラデー自身が自己研鑽の手本とした本である。

## 2. 自己研鑽の過程

### 2.1 向学心のめざめ

彼は初等教育しか受けず、少しまじな読み、書き、算数を学んだだけと言っている。高等教育を受けなかったが、元来、向学心に燃えていた。13歳で製本屋兼本屋に勤めた。製本屋の親方は親切で、幸いにも彼は仕事の合間に本を読むことを認められた。子供の頃はアラビアンナイトの本にあこがれた空想的な少年であったと後に述懐している。生来の本好きであり、後年の彼の居室は本に囲まれていて、小説を読むのを楽しんだ。

しかし、当時はファラデーのような立場の人間が学習能力を高める方法を見つけるのは難しかった。1808年、ロンドンの銀細工師であった John Tatum は市民の科学教育の振興のために City Philosophical Society を設立した。1810年、まだ製本屋に勤めていた19歳の時にその会に参加し、Tatum などによる講義を聴講した。1813年に正式に会員になった。その会は30人から40人の会員からなり、水曜日の夜に集まって、互いに教え合ったり、順番に講義をしたりした<sup>6)</sup>。そこで、終生の友、アボット (Benjamin Abbott) と知り合った。アボットとは多くの手紙をやり取りしたが、科学情報の交換とともに、自らの文章作成能力を高める目的もあった。ファラデーは非常に筆まめで、Jones 本に多くの手紙が収録され、また、現存する約5000通の手紙が収録されて刊行されている<sup>9)</sup>。

また、1812年、ファラデーは科学本を読むだけでは飽き足らず、実際に実験も行った。銅、亜鉛、ニッケルなどの電極材料、硫酸マグネシウム、塩化アンモニウムなどの試薬を入手し、ボルタ電池を20段まで重ねてボルタ電堆を作製し、電気分解実験をした。誰の手助けも受けずに多様な実験をすることができた<sup>2)</sup>。このように自立した研究者になりうる素地があった。

### 2.2 自己研鑽の修行時代

1812年、向学心に燃えていた中で、著名な科学者のデイヴィー卿 (Sir Humphry Davy, 1778–1829) の講演を聞くことができた。1813年、彼は、22歳の時に王立研究所でデイヴィーの助手に採用され、研究所に住み込んで研究の手伝いをするようになった。彼の向学心はさらに刺激され、研究者になる道が開けた。

雇われて半年余り経った時、デイヴィー夫妻のヨーロッパ旅行に助手、従者として18か月、同行した。デイヴィーの名声は知れ渡っていたから、各地で大歓迎を受けた。観光旅行もしたが、各地の研究機関を訪ね、ゲイリュサック、ボルタなど多くの研究者と意見交換して見聞を広めた。

デイヴィーは実験器具を持参し、行った先々の研究機関で実験を行い、ファラデーが手伝った。単にデモンストレーションとしての実験ではなく、デイヴィーは実験結果を論文にして旅先から投稿するなどレベルの高いものであった。ダイヤモンドの燃焼、ヨウ素の反応などの研究がある<sup>2)</sup>。旅先で新しい実験をするのは至難であるが、それができたデイヴィーの才能は傑出しており、ファラデーはデイヴィーから余すところなく学びとった。ファラデーのヨーロッパ旅行については Jones 本に詳しい。

1815年、帰国したファラデーはデイヴィーの助手から研究所の助手になり、鉱物の収集、装置の管理の仕事を任された。

翌年の1816年、City Philosophical Society で、初めて科学研究に関する7回の講義を行った。次のように述べている。

「科学者 (philosopher) はあらゆる指摘を積極的に聞くべきであるが、自ら判断を下さなければならない。外見によって曇らされてはならない。都合のよい仮説を持ってはならない。学派に属してはならない。学説の支配者を持ってはならない。人物の崇拜者になってはならず、事物の崇拜者であるべきである。真実追求こそが最大の目的である。それらの特質にさらに勤勉さが加われば、当然、その人は自然の殿堂のペー

//////////////////////////////////////

////////////////////////////////////// *Polarography Lounge* //

ルの中に入ることを望めるだろう。」<sup>2)</sup>

ファラデーが 25 歳の時に科学者の理想像として描いたのは上記のとおりであるが、彼はそれを真摯に実行した。

同じく 25 歳の時に最初の論文、“Analysis of native caustic lime”を“Quarterly Journal of Science”に書いた。イタリアから送られた生石灰の分析についてデイヴィーから研究課題を与えられ、ファラデーの分析結果にデイヴィーのコメントを付けて発表された。それ以来、勇気が出てきて、他の雑誌にも発表できるようになったと言っている。誰にとっても、処女論文は思い出深いものである。

その後、1817 年、27 歳の時、一緒に学ぶための 5 人のグループ、essay circle を組織し、テーマ（結婚、法律、友情など）を決めて書いた文章を持ちより批評し合った。エッセイの題目は自由で制約はなかったが、政治的議論のある題目は避けられた。2 か月周期でエッセイを提出した。しかし、続けて文章を提出できない人が続出し、2 年ほどでグループは解散になった。学習グループのエッセイで引用された本の著者をあげると、引用頻度順（2 件以上）に、Alexander Pope, Samuel Johnson, Bible, William Shakespeare, James Thomson, Benjamin Franklin, John Milton, William Cowper などであった。科学者の本としては、フランクリンの本しか含まれていない。幅広い分野の本を読んでいたことがわかる。ファラデーの一番の愛読書で精神の指針としたのは聖書であった。

彼は科学者のニュートン(Isaac Newton, 1642-1726)、哲学者のベーコン(Francis Bacon, 1561-1626)、宗教家のワッツ(Isaac Watts, 1674-1748)を尊敬した。ワッツの“On the Improvement of the Mind”<sup>3)</sup>を自己研鑽の重要文献と位置づけている。

### 2.3 自己研鑽の完成

Jones も指摘しているように、ファラデーの研鑽過程は 30 歳前の 1820 年以前が初期過程で、40 歳前の 1830 年頃までが高

度な過程である。1831 年、*Philosophical Transactions* 誌にシリーズ論文を書き始めた時に研鑽過程を終えた。

これまで述べたように、1830 年以前の主な自己研鑽の場は City Philosophical Society であった。彼の科学研究もそこで口頭発表した。

1819 年、「事実だけが確かに信頼する価値のあるものである」と述べた。1820 年代に入ると、本格的に科学研究を行った。1820 年代の出版本は、“Chemical Manipulation” (1827)<sup>10)</sup> である。学生向けの化学実験の手引書であり、彼が自ら行った実験法のノウハウが詰まっている。その序文に、「化学は必然的に実験科学である。その結論はデータから引き出され、その原理は事実から得られる証拠によって支持される。したがって、常に事実と照らし合わせる必要がある。」と述べた。

1824 年、33 歳の時に王立協会の会員に選出され、一流の学者の仲間入りをした。1825 年、王立研究所でデイヴィーの後任の実験所長(Director of the Laboratory)になった。王立研究所の総裁(President)は公爵、侯爵などが順々に就任したから、ファラデーが実質的には研究所長であった。

そこで、ファラデーは自己研鑽と科学振興を意図して、王立研究所で講演を企画した。1825 年、青少年対象にクリスマス講演(Christmas Lectures)を企画した。彼は生涯に 19 回のクリスマス講演を行い、「ロウソクの科学」(The Chemical History of a Candle)、「物質と力」(The Various Forces of Matter)が有名である。

また、1826 年、青少年対象に The Juvenile Lectures, 成人対象に金曜講話(Friday Evening Discourses)を開始した。青少年向けには、実験を実演した。彼は、生涯にわたって、化学であれ物理であれ、数えきれないほどの講演を行った。いかにうまく講演をするかとその講演術に特別の注意を払い、その心得についてもさまざま述べている。講演時間は厳密に 1 時間と決めていた。「他人から指摘された間違いの訂

//////////////////////////////////////

////////////////////////////////////// *Polarography Lounge* //

正を疑うな」と自戒の言葉もある。

1820年代の研究は化学研究が主であり、1823年の塩素の液化、1825年のベンゼンの発見などがある。後年の物理研究とまとめて、55編からなる論文集“*Experimental Researches in Chemistry and Physics*” (1859)<sup>11)</sup>を刊行した。研究として不完全なものも数編あるが、原典のままに印刷するのが本分と考えると述べている。このことに限らず、彼は取り繕わなかった。

1820年代の科学業績も一流であるが、1830年頃を境にさらに画期的な発見が続いた。この頃、ファラデーの自己研鑽は完成の域に達し、論文の体裁も一新した。1831年、その後の研究も見越したシリーズ論文“*Experimental Researches in Electricity*”を*Philosophical Transactions*誌に発表した。そして、シリーズ論文全体の段落ごとに段落番号を付けた。1856年、シリーズ30論文の最終段落番号は3430番に達した。彼は自らの論文を引用する時に段落番号を記したから、引用箇所がすぐわかるようになっていく。シリーズ29論文までがvol. 1 (1839)<sup>12)</sup>, vol. 2 (1844), vol. 3 (1855)の論文集に収録された。

発表論文の裏付けとなるのが、実験ノート、研究ノートである。当初、彼は実験結果を備忘録 (commonplace book) に記していたが、1820年になって本格的な研究ノートを作成し始めた。1860年までの記録が“*Faraday's Diary*”として7分冊が刊行されている<sup>13)</sup>。彼の研究ノートのスタイルが確立したのは1831年であり、それまでは記述の仕方に試行錯誤があった。研究ノートの文章に段落番号を付け始めたが、付いたり付けなかったりしていた。それ以降から研究ノートの文章に段落番号を持続的に付けるようになり、その最終の段落番号は1860年の16041番に達した。論文作成の下書きと位置づけていて、研究方針、研究計画、必読文献、実験方法、実験結果、考察を含んでいる。彼の研究ノートの記載法には優れた特色があり、別稿<sup>14)</sup>「ファラデーに学ぶ研究ノートの付け方」で紹介した

ように現在の研究者も学べることが多い。

研究の進展を時系列的に示す。1831年、電磁誘導の法則を発見してシリーズ1, 2論文に発表した。1833-1834年、電気分解の法則をシリーズ3, 7論文に発表した。1836年、ファラデーケージの発見をシリーズ13論文、1845年には、ファラデー効果の発見をシリーズ19論文、反磁性の発見をシリーズ21論文に発表した。1833年、ファラデーのために Fuller 氏による寄付講座が設立されて、終身の化学教授 (Fullerian Professor of Chemistry) に就任した。1862年、71歳の時に最後の実験を終え、長く続いた金曜講演もこの年に終了した。自らの能力の低下を自覚し、他人に迷惑をかけられないと引退を決意した。一旦は固辞した英国王室から提供された邸宅で過ごし、75歳で死亡した。

### 3. ファラデーの教育観

#### 3.1 青年期の意見

彼の若い時の考えを知るために、City Philosophical Society で発表した2編のエッセイの内容を要約する。原典を入手しておらず、Jenkins 編集本<sup>6)</sup>に引用された抜粋を参考にした。

(i) “Observations on the Means of Obtaining Knowledge” (1817)

26歳の時、まだグループを形成していないときのエッセイである。知的能力向上のために社会がどうすべきかが当時、よく論じられていたが、ファラデーは個人として向上するにはどうするかに関心があった。彼が大いに参考にしたワッツの“*On the Improvement of the Mind*” (1741)<sup>8)</sup>で述べられた知的能力向上の5つの方法、conversation, lecture, reading, observation, study に自らの考察を加えた。

conversation については、「アイデアは意見の衝突から生まれるものであり、他の4つの方法では得られない」と述べて高く評価した。lecture については、「講義を受ける人だけでなく講義する人も向上する」と述べた。これは教師たる者、誰もが実感

//////////////////////////////////////

////////////////////// *Polarography Lounge* ////////////////////////

することである。reading については、彼は他の方法ほど評価していない。study については、「これなくしては他のことができても夢に終り、結局、無駄になる」と強調した。

彼自身は、さらに図書館の必要性について言及している。知識を得ることは重要であるが、それ以上にどのように知識を得るかが重要だとも言っている。彼は明確な意図をもって自らの能力向上を目指していたことがわかる。

(ii) “Observation on the Inertia of the Mind” (1818)

グループを形成してからの 27 歳の時のエッセイである。先の (i) のエッセイでは知的能力向上の方法について論じたが、本エッセイではその向上を阻害する事項について論じた。抄訳すると、「ニュートンによる物質の慣性の法則のように精神にも慣性がある。止まって待っている者はいつまでも止まっているし、進む者は進み続ける。無関心、怠惰は止まっていることであり、勤勉は進んでいることにあたる。止まっているということは、あらゆる新しい影響に敵対することであり、あらゆる古い影響を強化することである。人は進歩する動物である」と述べた。進歩するための処方箋を示してはいないが、勤勉であることが、即、進歩に繋がるという彼の生活信条を反映している。彼はやはり自然科学者としての立場に立って物事を理解しようとしていた。

### 3.2 老成期の意見

彼は 63 歳の時に “Observations on Mental Education” を発表した。1854 年 5 月 6 日、Consort 皇太子臨席の下で王立研究所会員対象に表題について講演した。ファラデーはその講演内容が自身の実験的生活と関連しているので、“Experimental Researches in Chemistry and Physics” (1859)<sup>11)</sup> に収録すると述べている。彼は、研究論文と同様に、この講義録の内容は価値があると思っていた。この講義録の内容はファラデーの教育観、研究観を知るとともに、我々が科学研究をするときに大変、

参考になることが記されている。その内容を踏まえ、彼の教育観を述べる。

(i) 判断力を磨くこと

彼は、教育は教えるものとは考えなかった。指導者が指導される者より賢いわけではないと述べた。教育の最重要事項は判断力を磨くことであり、それを自己研鑽によって達成すべきとした。判断を間違うのは判断力不足 (deficiency of judgement) による。我々の感覚は素晴らしいが、感覚だけに頼ると判断を間違うと述べ、いくつかを例示した。情報不足の段階で判断するのがよくない。それはおこがましい判断 (presumptuous judgement) である。イエスカノーカの問題ではなく、慌てて判断する必要はない。釣り合いのとれた判断 (proportionate judgement) が必要である。判断に絶対はないので、厳密にはどのような判断も保留状態にある (absolute reservation) と考えるべきとした。

また、超常現象に惑わされるなど強調した。当時、何もしないのに物が動くなどの超常現象が評判だったが、彼はそれを厳しく批判し、実験して論文も書き、Times 紙にも投稿した。彼は、この世の中は神によってうまく整合性よく創られており、つじつまの合わないことは決して起こらなると信じていた。

(ii) 自己研鑽すること

彼は自学自習による自己研鑽の必要性を強調し、自らも実践して手本を示した。

人は自己研鑽するべきである。他人の主張に盲目的に従わない。さりとて、好ましい意見ばかり探して反対意見を無視するのはよくない。正しいかどうかを自ら点検する。自らを疑うべきであると述べている。自主的に継続的に改善する。世間の人は科学者がいかに多くの考えや理論が彼ら自身の厳格な反証によって発表されずにひそかにつぶれたかを知らない。十に一つも実現しない。

判断を学ぶことを拒否する人と、自己研鑽で自らを向上するように努力する人の 2 つのグループに分けられる。他人を非難す

////////////////////////////////////

////////////////////////////////////// *Polarography Lounge* //

るのではなく、自らの主張が真実であることを示すことである。明快で正確な考え方を組み立てようとする習慣をつけるように精神的訓練をすべきである。生徒には、常にそのような取り組みをさせて、それを言語で明快に表現させるようにすることが自己研鑽の第一の観点である。自らの欠陥を認識して学ぶためには徹頭徹尾、謙虚さが必要である。科学が全体として進歩してきたのは、無知を不断に直してきたからであると述べた。

そして、彼は科学研究をすることが思考を研ぎすまし、その思考法が社会に役立つと考えていた。

#### 4. ファラデーの生き方

個人の生き方は研究態度に反映する。彼は極めて信仰心が篤かった。そこで、彼の個人的性格、宗教的信念に基づく人生観、科学観について述べる。

##### 4.1 個人的性格

ファラデーに関する伝記は多数あるが、やはり生前のファラデーを知る人が書いたものが最も参考になると思う。Jones による伝記<sup>2)</sup>を参考にする。彼はファラデーの特徴として次の4つを挙げている。

- (i) 誠実で正直だった。一切ごまかさな
- い。
- (ii) 他人に親切だった。妬みの感情が見
- られなかった。
- (iii) エネルギーが豊富であった。

(iv) 自分に厳しく謙虚であった。

(i) に関して、その資質は彼の研究態度にそのまま現れ、実験結果を作為なしに発表した。

発表論文に対する批判についての対応としては、次のような事例がある。1821年、彼の研究人生で最大の危機ともいえる事態に遭遇した。電磁回転に関する研究を発表した際、高名な科学者であったウォラストン (William Hyde Wollaston, 1776–1829) の研究を盗んだと批判された。その批判の急先鋒がことであろうに師のデイヴィーであった。やがて、ファラデーの研究とウォラストンの研究の違いが明らかになり、疑いは晴れた。ウォラストンの許可を得て、その顛末について発表した。ファラデー自身が書いた草稿にウォラストンが書きこんだコメントを記録として残した。ファラデーは実に公明正大な対応をしている。

また、彼は実験の間違ひについて述懐している次の例もある。「私はボルタ電極を接触させなくても近づけるとスパークが飛ぶことを信じてその理由を考察したが、他の人がその事実を否定し、彼らの意見がもつともであることがわかった」。<sup>\*</sup> (脚注)

(ii) に関しては他の研究者と非常に友好的であった。オゾンの発見者として知られるドイツのシェーンバイン (Christian Friedrich Schönbein, 1799–1868) から鉄の不働態現象を発見したことを示す長文の手紙を送られたことがある。重要な知見だ

\* 当時の電気化学研究で最大の論争はボルタ電池で発現する電気の成因についてであった。異金属の接触が原因であるとする接触説とボルタ電池の中で起こる化学作用が原因であるとする化学作用説があった。ファラデーはシリーズ 8 論文 (*Phil. Trans.*, **124**, 425 (1834), 段落番号, 878–887) でこれを検証した。ボルタの単電池で両極の金属の導線を接触させるとその直前でまだ接触していないときにすでにスパークが飛ぶと述べた。接触させずとも電気が流れたと判断し、接触説の反証実験になると主張した。ところが他の研究者が実験してもスパークが飛ぶことを確認できず、ファラデーもシリーズ 16 論文 (*Phil. Trans.*, **130**, 61 (1840), 段落番号 1806) で自らの実験の誤りを認めた。Tyndall はファラデーの行った数少ない実験の失敗例であると言っている。この論争は長く続いた。完全に決着がついたのは、1888年、ネルンストの式が提示されたことによる。ネルンスト式で、発生起電力は両極の標準電極電位と化学種の濃度 (活量) の両方に関係することが示され、その一方だけを成因とみなすことができないから、この論争は終息した。

//////////////////////////////////////

////////////////////////////////////// *Polarography Lounge* //

と思い、彼は自ら実験して確認し、その現象は鉄の表面が極薄の酸化膜で覆われるからであると推論した。自らの実験結果も付記して、*Philosophical Magazine* 誌への掲載推薦の労をとった。シェーンバインとは終生の大親友になった。Gladstone は、ファラデーの親切には他人に対する配慮、敬意があったと述べている。

(iii) に関しては怠けることは罪悪と考えていた。住職一体の王立研究所で平日は朝から晩まで働き、日曜日は教会行事に従事した。Gladstone は、実験室を見学した誰もがファラデーの手際の良さとい心不乱の仕事ぶりに感銘を受けたと述べている。

(iv) に関しては、大業績をあげた人には珍しいほどの特質である。講演録では、謙虚でないと学べないと述べている。非の打ち所のない人物であり、それも自己研鑽の賜物である。確固たる信念と自信があり、気持ちに余裕があったのだと思う。勿論、何事によらず、批判する人はいた。

Cantor によれば、19世紀前半は他人を個人攻撃することは当たり前だったとのことである。ファラデーは利己的で狭量であることと批判されたこともあるが、批判をやり返すのではなく、沈黙を保った。著名な電気工学者で利益優先型のスタージョン

(William Sturgeon, 1783-1850) とは終生、肌合いが合わなかった。彼が付き合う相手を選び、孤高の人とみなされていたことは否めない。また、王立研究所のファラデーの後継者である Tyndall は、最後の16章<sup>1)</sup>で、ファラデーの最も重要な知的性格は精神の独立であると述べている。また、ファラデーは「自分は一生涯、ただのマイケル・ファラデーであらねばならない」と言ったと述べている。実際、ファラデーの墓碑には名前があるだけである。名前だけで誰もがわかる人であったともいえる。

#### 4.2 人生観と科学観

彼の宗教的信念は人生観、また、科学観に反映した。彼は禁欲的なキリスト教の一派であるサンデマン派の敬虔な信者で、長老として伝道もした。彼の宗教観としては、

Cantor が詳しく論じている。彼の信仰に基づく人生観としては、

- (i) 宗教的良心を堅持した。
- (ii) 栄誉栄達を求めなかった。
- (iii) 金持ちになることを求めなかった。

(i) に関しては、彼はキリスト信者として模範となるべく、生活を律した。(ii) に関してはナイトの称号授与を断った。王立協会の会長になることも断ったが、断ったことが新聞のニュースにもなった。特別視されることを嫌った。(iii) に関しては、彼は当時すでに特許制度はあったが、特許を申請しなかった。研究でお金を得ること自体に批判的であった。ファラデーは良心にいささかも恥じず、市井の人として生きることを望んだ。

彼の宗教的信念に基づく科学観としては、

- (i) 神が整然として世界を創った。
- (ii) すべては整合している。
- (iii) 自然法則が存在する。

(iv) 自ら実験して神の摂理を解き明かす。などがある。(i) に関しては「我々が読むべき自然という本は神の指で書かれている」(The book of nature, which we have to read, is written by the finger of God) と言っている。(ii) に関しては、磁気、電気、化学など、すべてが整合して相関関係があると実験をする前から信じていた。電磁誘導の法則も電気分解の法則もその考えの延長上にあつた。(iii) に関しては、「自然法則は自然に対する我々の知識の基本である」と述べた。ニュートンの万有引力の法則などの自然法則があると信じていた。彼の電気分解の法則もその一つである。(iv) に関しては、「もしそれが自然法則と合致するとすれば、まさか真実でないということがあろうか」(Nothing is too wonderful to be true, if it be consistent with the laws of nature) と述べた。提唱した仮説と実験結果が一致しないとき、仮説それ自体に不備があるのか、実験条件に問題があるのかを判断することは難しい。その時に指針としたのが自然法則であった。彼の科学観と信仰には何の矛盾もなかった。

//////////////////////////////////////

////////////////////////////////////// *Polarography Lounge* //

### 5. ファラデーの研究態度

ファラデーの研究上の特徴として、Jones は第1に事実への信頼、第2に想像力をあげている。ファラデーは常々、実験の重要性を指摘したが、仮説なしには何も進歩しなかっただろうと述べている。電磁場の概念を打ち出し、目に見えない電気力線の存在を提起したことなどがある。

Tyndall は、精神の独立をあげている。また、筆者はファラデーの電気分解に関する論文を解説し<sup>15,16)</sup>、第2法則発見の過程における具体的な研究流儀の特徴を、下記の11項目に整理して考察した。(1) 空理空論を排した。(2) pole 引力説を排した。(3) 定量実験を行った。(4) 本来の結果と二次的結果を区別した。(5) 多種類の化学物質を用いた。(6) さまざまな実験法を用いた。

(7) 電気化学当量の決定に熔融塩電解法を用いた。(8) 常に実験法を進化させた。(9) マイクロスケールケミストリーであった。

(10) 自らの実験を自ら検証した。(11) 研究ノート作成を重視し、最大限に利用した。また、筆者はファラデーの研究ノートを点検してファラデーの第2法則の誘導の過程の考察をした<sup>17)</sup>。研究目的の設定、実験の準備、実験の遂行、実験結果の考察、どれをとっても考え抜かれた思考によって研究が遂行されていることがよくわかる。それらを参考にして、彼の研究態度を総括的に述べる。

(i) 科学実験の遂行を自己研鑽のプロセスとする。

自ら学び、自ら点検し、自ら改善することを科学実験で実践し、自らを自然科学者(natural philosopher)と見なした。

彼は1831年、40歳の時、それまでの試行錯誤の後に、研究ノート、論文の記述法を一新し、まとまった文章の段落に通し番号を付け始めた。彼の研究ノートは義務的に実験結果を記述するのではなく、これも書きあれも書いて置かなくてはという気分で記述されており、後々までも自らの研究の歩みの資料として取り扱っている。(8) で実験法を進化させたのも、(10) で別の実

験法を使って検証したのも自己研鑽のプロセスである。

なお、彼は後に論文集としてまとめたとき、誤植とみなせる部分を直ただけで、内容の修正は一切しなかった。書き加えたいと思うことは、すべて脚注に示した。

(ii) 事実を実験的に検証する。

「実験をしなければ私は無価値である」(Without experiments I am nothing) というほど、実験して真実を明らかにすることを自らの使命とした。事実だけが信頼できると言っている。実験の意義もそれに立脚する。他人から説明されても、自ら実験して確認しないと納得しないというほど徹底していた。

(iii) 一切、ごまかさない。

宗教的良心に基づき、一切、データをごまかさなかった。筆者は一部の研究についてはあるが、彼の研究ノートと論文のデータを比較検証した<sup>16)</sup>。彼の研究ノートのデータと論文のデータにはくい違いもないし、取捨選択もほとんどしていない。使わなかったデータは彼自身が不確かと自覚したデータに限っている。アンチモンの電解についての発表結果についてベルツェリウスから批判された時、自ら実験法を改良して再実験して先に発表した実験結果は誤りであったと訂正文を出した。間違いを言い訳せず、素直に認めた。

(iv) 自己完結型の研究手法である。

実験作業を手伝う助手1名、Anderson を雇ったが、実質的には単独研究であった。頼まれても、弟子を取らなかつた。したがって、論文のほとんどは単記名の発表であった。彼が単独研究をしたのは、他人のペースと合わなかつたからと推測する。また、同じ現象を観察しても、人それぞれ別々に映ると言っている。自分で行わないと納得しなかつた。

共著論文としては、1820年、Philips と行った塩化炭素の発見、Stodart と行った耐食性鉄合金の開発などがあるだけである

(v) 研究の虫である。

朝9時から夜11時まで働く研究の虫で

//////////////////////////////////////

//////////////////////////////////// *Polarography Lounge* //////////////////////////////////////

あった。研究室を見学した人の言によれば、ファラデーは部屋の中を走り回っているような感じで忙しく実験していたそうである。毎日、克明に研究（実験）ノートを取り、それが論文の草稿となった。一生懸命研究したという表現では不十分で、研究ノートの記載から推測すると、彼の一日の実験内容は通常の人の一週間分でもおかしくはない。緊張感あふれる研究でありながら、研究を楽しんでいた。

(vi) 不確かな知識を排す。

しばしば、不確かな知識 (doubtful knowledge) という言葉を使っているが、根拠不十分な説を述べることは他人をまどわすと批判した。(1) に関連するが、事実によらない説が流布するのを嫌がった。また、(2) に関連するが、科学用語を厳密に使用することにこだわった。

(vii) 研究が多様多様である。

ファラデーが行った研究を鳥瞰すると、誰もがその幅の広さに圧倒される。限定された研究をしていたのでは真実を明かすことはできないと思っていたいに違いない。電気分解の研究に限っても、(5) で多種類の化学物質を用いたのも、(6) でさまざまな実験法を用いたのもその一環である。

彼はすべての科学現象は関係づけられていると先験的に考えていた。電気分解の法則を発見したのも電気量と化学量が等価で変換できると始めから信じて疑わなかったからである。(4) に関連するが、副反応が起こっても、副反応になる原因を調べればよいという対応をした。

ファラデーは晩年近くになって、すべての科学現象は重力と関係付けられると考えていた。しかし、どれだけ実験しても関係づけられなかった。1860年に彼は正直に失敗した実験結果をまとめ、*Philosophical Transactions* 誌に投稿した。査読した流体力学の権威、ストークス (George Stokes, 1819-1903) から、失敗の記録だけでは発表する価値はないと言われ、ファラデーも投稿を取り下げたことがある。どのように失敗の知見を活かすかは難しい問題である

が、晩年になっても困難をものともせず困難解決に挑んだ一生であった。ファラデーの場の理論は、マックスウエル、アインシュタインを経て結実した。

## 6. おわりに

ファラデーは人間的にも学問的にも常に自己研鑽を心がけた。彼の20代は科学研究の傍ら、基礎学力をつけるために意図的に自己研鑽を行った。30代は科学研究も充実してきて、その科学研究を自己研鑽の実践の場とみなした。40代の科学研究の業績は目を見張るばかりであるが、それはそれまでの自己研鑽の努力が結実したものであった。いかに自己研鑽すべきかについて、「3. ファラデーの教育観 - 3.2 老成期の意見」で要約した“*Observations on Mental Education*”が大変参考になる。一読を薦める。科学研究に関心のある学生、若い研究者がファラデーの自己研鑽の努力から学べることは多いと思われる。

## 謝辞

ファラデーの魅力と共に語り、激励と助言をいただいた畏友、大日方克人氏に深謝する。

## 文献

以下の文献の中で古いものはリプリントされ、またインターネットアーカイブ、[archive.org](http://archive.org) で読むことができる。*Philosophical Transactions* 誌に発表されたファラデーの原論文は、(<http://rstl.royalsocietypublishing.org/content/by/year>) で読むことができる。

- 1) J. Tyndall, “Faraday as a Discoverer”, Longmans, Green and Company, London (1868).
- 2) B. Jones, “The Life and Letters of Faraday”, Longmans, Green and Company, London (1870).
- 3) J. H. Gladstone, “Michael Faraday”,

////////////////////////////////////

////////////////////////////////////// *Polarography Lounge* //

- Macmillan, London (1872).
- 4) L. Pearce Williams, "Michael Faraday", Chapman & Hall Limited, London (1965).
  - 5) Geoffrey Cantor, "Michael Faraday: Sandemanian and Scientist", Macmillan, London (1991).
  - 6) A. Jenkins, "Michael Faraday's Mental Exercises", Liverpool University Press, Liverpool (2008).
  - 7) David Gooding, Frank A. J. L. James, eds., "Faraday Rediscovered", Macmillan, London (1985).
  - 8) I. Watts, "On the Improvement of the Mind" Edwards and Knibb, London (1741).
  - 9) Frank A. J. I. James, ed., "The Complete Correspondence of Michael Faraday", The Institution of Engineering and Technology, London (2011).
  - 10) M. Faraday, "Chemical Manipulation", John Murray, London (1827).
  - 11) M. Faraday, "Experimental Researches in Chemistry and Physics", Taylor and Francis, London (1859).
  - 12) M. Faraday, "Experimental Researches in Electricity, vol. 1, Richard and John Edward Tailor (1839).
  - 13) M. Faraday, "Faraday's Diary of Experimental Investigation" (Ed. Thomas Martin), 2<sup>nd</sup> edition (2008). [www.faradaysdiary.com](http://www.faradaysdiary.com).
  - 14) 金児絨征, 現代化学, No. 526, 42, 東京化学同人 (2015).
  - 15) 金児絨征, *Electrochemistry*, **83**, 1032 (2015).
  - 16) 金児絨征, *Electrochemistry*, **83**, 1119 (2015).
  - 17) 金児絨征, *Rev. Polarogr.*, **63**, 29 (2017).

