

# ファラデーが「誘導」の理論を確信した実験について

夏 目 賢 一

## 〇、序論

この論文の主要な関心は、科学上の知識が形成される過程における、概念と、その概念に与えられた理論との関係を、ファラデーの「誘導」の理論の形成に即して考察することにある。科学者は研究を進めていく過程において、その理論（体系）の獲得を自覚する瞬間があるが、その自覚の前後における認識にはどのような相違があるのだろうか。あるいは、その概念を構成する内容をそれぞれ認識した段階で、その概念を獲得したことになるのだろうか。このような問いを念頭において考察を進めたい。

## 一、「誘導」の理論

本論文は、ファラデー (Michael Faraday, 1791-1867) が一八三七年から一八三八年にかけて発表した電気現象における「誘導 (induction)」の理論に注目し、ファラデーがこの「誘導」の研究を進めていく中でこの誘導の理論を形成していく過程を分析する<sup>1)</sup>。この誘導の概念について、ファラデーと同じ年代の学者であり、ファラデー

と親交のあったヒューエル (William Whewell, 1794-1866) が自身の著書の中で簡潔にまとめているので、その記述を引用する。

どんな形を持つ伝導物体を差し出しても、荷電物体は、それと同類の流体を自分の側に引きつけ、反対の流体をその反対側に退けるように、導体内の電気流体に新たな配置 (a new arrangement) を決定してしまう。これが電気の誘導である<sup>(3)</sup>。

すなわち、電荷をもった物体が離れたところにある他の物体上に電荷を出現させる現象が、「誘導」である。この誘導の現象においては、ヒューエルも言及しているように、その作用の直線状ではない「配置」が十八世紀以来の問題であった<sup>(3)</sup>。そして、ファラデーもまた、この「配置」に関する問題に取り組み、この現象に定性的な理論を与えたのであった。先のヒューエルの文章は、一八五七年に出版された『帰納科学の歴史』第三版に所収された「第三版への付記」の中の「ファラデー博士の静電誘導についての見解」<sup>(4)</sup>からの引用であるが、十八世紀以来、現象を数学的に説明することが多くの学者にとって重要であると考えられていたため、ファラデーが誘導の理論を発表してからおよそ二十年を経てもなお、この「配置」の問題は依然として大きな課題だったのである。なぜなら、「森羅万象におけるニュートンの理論」<sup>(5)</sup>、すなわちその当時多く試みられていた電荷からの直接の作用として数学によってこの誘導作用の配置を算出する方法では、このような配置の説明が困難だったからである。「配置」を数学によって表現することの重要性は、次のヒューエルの文章にもよく表れている。

この誘導の力による導体上の流体の配置は、対称ではなく、決定のためには複雑で困難な計算を必要とする法

則に支配されているようだ<sup>(6)</sup>。

そのためヒューエルにおいて、「我々の見出したその配置が、クーロンの理論では説明できないものであり、我々に曲線状の作用を仮定することを強いている」<sup>(7)</sup>ことを認識し、この曲線状の配置に説明を与えることが、ファラデーの発表の後、二十年を経てもなお、研究上の大きな課題として残っていたのである。そしてこのファラデーの誘導に関する研究が他の研究者にとっても大きな意味を持つためには、トムソン (William Thomson, 1824-1907) やマクスウェル (James C. Maxwell, 1831-1879) による数学を用いた定式化<sup>(8)</sup>を待つ必要があった。

ファラデーは、この誘導についての研究を、一八三七年一月から一八三八年六月にかけて、主に四本の論文として発表した。とくにこの誘導についての理論は、一八三八年六月に、それらの最後の第四の論文において、「実験研究の前の三つの集で示され説明された誘導の理論は、電気の力について、その分布 (distribution) だけで何も新しいことを仮定していない」<sup>(9)</sup>ために、より自然哲学的に現象の説明を与える理論として発表された。この「分布」こそが、先にヒューエルについての引用における「配置」同様、誘導の理論形成において大きな意味を持つものであった。ファラデーは、誘導の理論を『電気実験研究』第一巻の1669パラグラフから1678パラグラフでまとめている。少し長いが、ファラデーの誘導の理論を理解するために全文を引用する。

1669. この理論では次のことを仮定する。絶縁する物質であろうと伝導する物質であろうと、すべての粒子は全体として導体であること。

1670. 通常の状態では極がないこと、隣にある荷電粒子の影響によってそうなることができること、まさに、

多くの粒子からなる絶縁された伝導するかたまりの中におけるように、極性のある状態が瞬時につくりだされること。

1671. 極性が与えられたときの粒子は力のかかった状態にあること、そしてその通常の自然な状態に戻ろうとする傾向があること。

1672. 全体としては導体であり、まるとであれ分極的にであれ、直ちに荷電されうること。

1673. 隣接している粒子はまた誘導作用の線のうちにあり、それらの極の力を一方から他方には、まるとに伝える、あるいは運ぶことができること。

1674. それほど直ちにはないものは、この移動や伝達が起こる前に極の力が高められる必要があること。

1675. 伝導を構成する隣接粒子間の力の即座の伝達、そして絶縁の困難な伝達。導体と絶縁体は、それらの粒子がそれぞれの力を容易にあるいは困難をともなつて伝える性質をもとから持っている物体であること。まさにそれらが持っている他の本来の性質と同じように、これらの違いを持っていること。

1676. 通常の誘導は、絶縁物質に励起された電気あるいは自由な電気で荷電された物質の作用の結果として生じ、反対の状態を同じ量だけその中に生み出す傾向のある効果であること。

1677. 同じことを次におこない、これらがそのまた先のものにおこなう、というのは、それに隣接する粒子に極性を与えることによってのみ、これをなすことができるということ。そして、作用は励起された物体から次の伝導するかたまりへと伝播され、伝導するかたまりにおいてその物体の粒子が極性を与えられることによる伝達の効果の結果として、そこで逆の力を顕わなものにするということ。

1678. それゆえ、誘導は絶縁体を通して、あるいは横切つてのみ起こりうるということ。誘導とは絶縁であり、それは粒子の状態、そしてそのような絶縁するような媒体を通して、あるいは横切つて電気の力の影響が

移動あるいは伝送されるような様式の必然的帰結である<sup>(10)</sup>。

この理論の最も大きな特徴は、導体から絶縁体までという、すべての物質の電氣的性質それぞれにわたって、物質を一般的な一つの理論のもとにまとめあげたことである。これは最初の1669パラグラフでも明記されている。またこの理論の特徴は粒子に極性を考えることであった。伝導とは粒子が分極状態になり、それが次々と隣接する粒子に分極状態を伝えていく現象であると考えられた。この伝導を起こすために、極性を与えられやすいものが導体で、極性を与えることが極めて困難なものが絶縁体であると考えられたのである。物質に与えられてきた電氣的性質による分類は、この極性の与えられやすさ(誘導容量とよばれる)によるものだとされた。ここで一つ注目できることは、これまで電気現象においては「流れ(currentやstream)」という表現が多用されてきたのに対して、ここでの記述においては「伝達や移動(communicationやtransference)」といった表現が多用され、考察の対象が流れる電気そのものから、それを伝える物質へと移り変わっていることである。この点は、本論文の主張において大きな意味を持つが、それは後の議論に譲ることにする。

誘導の理論において最も重要なことは、前述の「分布」であった。曲線状に作用するという考えが概念に組み込まれたとき、その理論化の困難が生じたのであるから、この「分布」の謎に理論を与えたことが、ファラデーの大きな強みであった。ファラデーは一八三七年一月に発表した誘導についての第一の論文で、この曲線状作用について論じている。

もし直線だけならば、おそらく決定的ではないが、それは私の見解に反するだろう。しかし曲線もあるなら、

隣接する粒子の作用の自然な結果であろうし、しかし、私が考えるように、ある距離を隔てた作用とはまったく相容れないだろう(11)。

すなわち、この曲線状の分布に対して、「隣接する粒子の作用」という説明を与えたのであった。この誘導における曲線状の作用は、論文中では図1とそれに類似する装置を用いて、空気(12)を媒質とする誘導作用として示される。この装置はシェラックで作られた棒の上に、真鍮製の球(B)が据えつけられているものであった。絶縁体であるシェラックを帯電させ、それによって真鍮球に電荷が誘導されるのであるが、その誘導の作用が真鍮球の周囲で曲線を描いていることが観測されたのである。

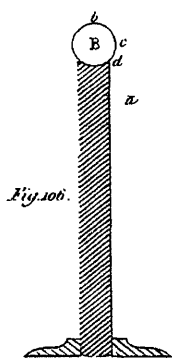


図1 曲線状作用を示すための装置

そもそも、この装置は別の目的のために作られた実験装置の一部であった。ファラデーは、一八三六年末から図2左の実験装置(13)を用いて、さまざまな物質の誘導作用に対する容量を測定していた。

半年ほど、さまざまな物質の誘導容量を測定していたファラデーは、一八三七年一〇月六日に偶然、シェラック軸1からの誘導作用が曲線を描いていることを発見する。そのため、半年以上にわたり注目してこなかった装置の上端部に注目する。これが偶然である理由は後で詳述するが、この上端部だけの図(図2中央)を研究日誌に初めて描いていることから、この発見が偶然であったことがうかがえる。そして翌一〇月七日に再度実験をおこなったファ

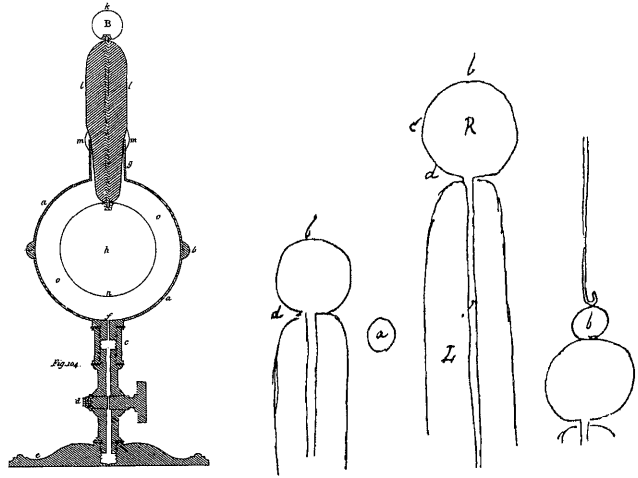


図2 誘導容量の測定装置<sup>14)</sup>

ラデーは、研究日誌に次のように記述し、誘導の理論を確信するのであった。

曲線状の誘導のよい証拠が、これらの軸からの誘導の効果で得られており、そのような曲線状の作用は、ある固有の容量よりも、分子の作用のよりよい評価基準であるように思われる<sup>15)</sup>。

そしてファラデーは、この記述の直後に「軸の誘導作用と、その曲線状作用<sup>14)</sup>と記述し、誘導容量の測定実験を中止し、この確信を検証するため、誘導の作用の空間的配置を検証する実験を開始する。ところで、この記述には誘導の理論を考える上で重要な四つのキーワードが含まれている。それは、「誘導 (induction)」「曲線 (curved lines)」「分子の作用 (molecular action)」「および「固有の容量 (Specific capacity) <sup>15)</sup>」という言葉である。これらの言葉の中でも、とくに、発見とともに記されたこの文章の主張を担う「曲線状の作用」と「分子の作用」という言葉は、もっとも重要なキーワードであると言えるだろう。本論文ではこれらのキーワードに着目し、ファラデーが誘導の概念を展開していく過程を考察することにする<sup>16)</sup>。とくに分析の対象は、一八三五年一月三日から開始された一般的な誘導現象の研究から、一八三七年十月におこなわれた誘導の理論を確信

させた実験がおこなわれるまでの期間を中心とする。一八三五年一〇月以前にも誘導についての研究はおこなわれていたが<sup>(17)</sup>、空気を媒質とした実験研究に本格的に取り組み始めたのは、この一八三五年の一月からだからである。

## 二、一八三五年末、誘導の実験の開始

ファラデーは一八三五年一月三日の研究日誌に「近頃、一般の電気とボルタ電気との関係について大いに考えている、すなわち前者の誘導と後者の分解との関係について、そしてまったく緊密なつながりがあるに違いないと確信している」<sup>(18)</sup>と記述して、電気現象一般における誘導についての新たな包括的研究を開始した。

このボルタ電気については、一八三二年の有名な「電気分解の法則」の発表に続いて、一八三四年を中心として研究が進められていた。これからファラデーの誘導についての研究の考察を進めるにあたり、その出発点となる基本的な考えを理解するため、少々長いが一八三四年一二月の論文から引用をおこなう。ここでは、電気分解と電気伝導の関係が論じられている。

§23. 電解質はつねに化合物体である。それは伝導することができるが、分解しているあいだけである。その伝導は、電流と平行に向いているその分解や粒子の伝送に依存している。この結びつきはあまりに親密なので、それらの移行が止められれば、電流も止められる。それらの経路が変えられれば、電流の経路や方向もそれらとともに変わる。電解物体の粒子はすべてがそれほど相互に結びつけられていて、電流の方向の全範囲を通じて互いにそのような関係にあるので、最後のものが配置されていなければ、最初のもは、もっとも反応性のある金属の力強い親和力が作り出そうとする新しい結合の配置でさえ、自由にとることができない。そし



て電流それ自身は止められる。電流と分解の依存状態はそれほど相互的なので、まったくどちらかが、すなわち粒子の動きか電流の動きのどちらかがはじめに決められれば、もう一方もそれにとまって作り出されるものについては、そしてそれとの関係については、変わることができないのである<sup>(19)</sup>。

ここで、「それ（電解質）は伝導することができる（it can conduct）」という記述に特徴的なように、伝導は実際にその作用の主体として「電解質」を持つ現象であった<sup>20</sup>。また、この記述からわかるように、電流と同じ経路上に連続した粒子の配列を考え、この粒子の連続的な伝送と電流とが不可分の現象であることが述べられている。ただし、この電気分解の考察においては、連続した粒子の作用は考えられているものの、その粒子自身が「伝送」するため、一八三七年に発表された誘導の理論とはイメージが大きく異なる。またファラデーはこの時点で、粒子の分極や、作用が曲線を描くということを取り立てて論じることもない。

議論を、この章の議論の出発点であった一月三日に戻す。ファラデーはまず、「電気は起電物体 (Electric) に関係しており、導体にはない」<sup>21</sup>という観測結果より、「電気が起電物体の表面上に存するという考えのもとでの、誘導の現象の考察」<sup>22</sup>を始める。そして続いて、「誘導下にあるプレートの状態は磁石の状態と同じであるから、割ったり砕いたりしたら、新たな正あるいは負の面が以前は決して顕在していなかったところに現れるだろう」<sup>23</sup>という、その後の研究に対する重要な帰結を思考実験より導き出すのであった。しかし、ここで注意が必要なのは、ファラデーが、誘導の作用下にある物質は割ったり砕いたりすることで初めて新しい正や負の面が現れると考えており、ただちにあらかじめその物質を構成する全ての粒子が極性を有しており、その集合として極性が打ち消しあっている状態にあると考えているわけではないという点である<sup>24</sup>。そのため、この段階においては、連

続した粒子の分極作用が伝達するといった考えを持っていたわけではなかった。これは、「起電物体の物質は絶對的に浸透させられ、荷電させられるのだろうか。」<sup>(25)</sup> という類似の問いとしても発せられる。すなわち、起電物体を一つの極性だけを持つように荷電させることができるのか、あるいは常に正と負の両方の極性を持つようにしか荷電させることはできないのか、という問いである。しかし粒子があらかじめ極性を有しているわけではないにせよ、前述の磁石との類似性を考えていることから、この段階においては、電気現象において常に正と負の二つの極性が同時に現れるのだという考えが明確になりつつあることがわかる。これは「起電物体が荷電されうるだけなら、荷電した空気やオイルなどの粒子の電氣的状态とは何か。」<sup>(26)</sup> という問いにも反語的に表現されている。

一方、これと同時に、誘導によって電荷が現れるのは物体の表面上であることから、「起電物体上に電氣が存するならば、その現象はかたまり全体ではなく粒子、すなわち導体に接している起電物体の粒子に關係しているといえる」<sup>(27)</sup> という帰結がなされている。すなわち、この一月三日の段階では、誘導が極性と關係するということと、また粒子の作用であるということの二つの重要な考えが、互いの關連が不確定ながらも認識されはじめていることがわかる。

ファラデーは、この一月のさまざまな考察に続いて、一二月にはいると図3のような銅製の容器を用いた実験を開始する。この実験は、導体である銅を帯電させ、その電荷が容器の周囲に及ぼす誘導作用の強度の空間的配置を、ヘンリーの電氣測定器を用いて測定するというものであった。ファラデーはここで、強度の等しい場所を線で結び<sup>(28)</sup>、その曲線を描いている。もっとも、ここで描かれる曲線は、誘導作用の強度の等しい場所を線で描かれる曲線であり、作用の方向にそって描かれる曲線ではないという点が、一八三七年の理論における曲線とは異なっていた。

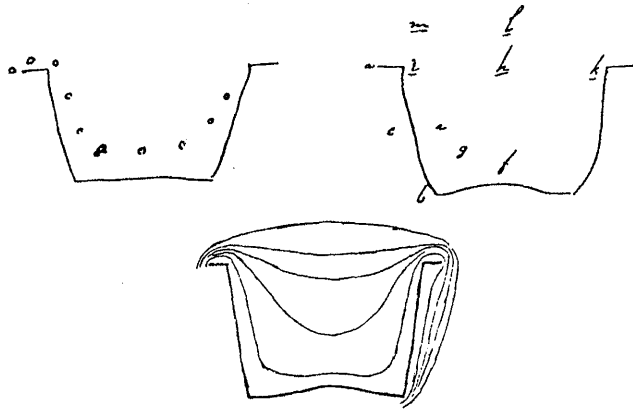


図3 銅製の容器<sup>iii</sup>

また続いて、ファラデーはライデン瓶にはたらく誘導作用の実験をおこなっている。この実験において、誘導の曲線状の作用を認識し始める様子を伺うことができる。

鋭くない先端において (at rough point) 電気が流れ出すとき、電気は実際はどのように進んでいくのか知ることに努めること。空気が本当に帯電して、それぞれの帯電した粒子が各々によって最も近い絶縁されていない、あるいは(電気的に)逆の面への道筋を見つけているのだろうか<sup>29</sup>。

ガラスの密な性質から誘導の力はそれほど深くは浸透したり極性を与えたりはできず、誘導はむしろ空気を通してポイラーの底のほうに向かっているということが、もっともらしい<sup>(30)</sup>。

この時点では、誘導について「空気を通って」という表現を用いていることから、誘導が空気それ自身の作用であると認識されているわけではないことに注意が必要であるが、曲線状の作用を認識していることは重要である。なおこの時点でファラデーは、「空気を通しての誘導は曲がったり、角をまわったりできるのだろうか。」<sup>(31)</sup>と記述し

ているが、この記述において、この誘導の研究を始めて最初に「曲線 (curves)」という言葉を用いている。そして研究日誌においてその日の記述に続く一月二三日の実験の考察においては、「電気は空気やガラス、電解質などにおいて、極性のうちにのみ存在するようだ」<sup>32</sup>として、この時点においてはかなり「空気のまるごとの荷電」<sup>33</sup>に対して懐疑的になってきている。また、一八三六年一月には、さまざまな現象において「誘導がそれゆえ疑うべくなく曲線を描く」<sup>34</sup>ことが結論づけられている。しかし、この時点においても、曲線状の作用と極性が結びつけられて考えられることはまだない。

### 三、一八三六年半ば、放電の実験

誘導の現象とは異なる現象だが、誘導の現象を理論化する上で重要な役割を果たした現象に放電があげられる。一八三五年一月の段階で、「ブラシが実際に空気を荷電している状態であるなら、それらを追及し、火花や放電と結びつけて考える」<sup>35</sup>ことを課題と考えたファラデーは、一八三六年二月から、ブラシ放電の実験を始めている。

このブラシ放電の現象は「流れ (stream)」<sup>36</sup>と表現されている。また、一八三六年七月四日の放電現象の実験などにおいて、ファラデーは、針先からの風、すなわち「空気の流れ (current)」を観測した。そのことからファラデーは、空気が誘導によって荷電し、その荷電した空気が流れるというイメージを持っていたことがわかる。しかし、電気が「流れ」るからといって、この放電の現象をファラデーが一概に「伝導」と考えていたと解釈することはできない。なぜなら、ブラシ放電において電気の流れの媒体は空気であり、空気は導体として位置づけられていたわけではなかったからである。そこで、空気の荷電<sup>37</sup>のされ方が引き続き問題となる。すなわち、「そのような空気はまるごと正や負に帯電させられるのだろうか、それとも、それらの自然の量には正も負もなく、方向づけられた (directed) 極性をともなうのみ帯電させられるのだろうか。これは現時点での大きな問題だ。すなわち、



図4 放電iv

起電物体は帯電できるが、導体ができるとは思わない。」<sup>(38)</sup> という考察の答えは、そのままブラシ放電の現象を分析する上で大きな示唆を与えるのである。空気が分極するように帯電させられるのであれば、帯電した空気が「流れる」にせよ、ファラデーの概念において、ブラシ放電は誘導に近い現象であったと考えられる<sup>(39)</sup>。さらに、空気が全体的に帯電するのだとしても、そのまま放電を伝導の現象であると考えていたということにはならない。通常の伝導とは異なり、媒質である空気自身が「流れる」ことが観測されていたからである。この困難をファラデー自身が自覚していたことは、「針先での風の原因をなんとか理解せねばならない。それは、誘導とそして（問題を含む）空気の帯電とも、もっとも本質的で直接的な関係を持っている。」<sup>(40)</sup> という記述に表れている。もっとも、ファラデーは空気が極性を持つように帯電させられる可能性が高いと考えていたために、前者の考えにより近い立場をとっていた。こうして、この放電の現象は、誘導による現象だと述べられるのだが<sup>(41)</sup>、実験を進めるにあたっては、作用が曲線である点は強調されていない。例えば図4の一八三六年六月二日の放電実験においても、この放電の描く線は曲線として認識されることはなく、むしろ直線であることが強調され、それが「これはとても美しい」と表現されているからである<sup>(42)</sup>。

これに続く七月に、「テレピン油は空気よりもより強い誘導体 (inductor) としてふるまうと思われる」<sup>(43)</sup> という記述によって、ファラデーは「誘導体」という言葉を初めて用いている。この言葉が用いられている実験は、一連の放電の実験の中でおこなわれたものであった。ファラデーは、針先の電気の流れの効果を確かめるために針をテレピン油の中に入れて実験をおこなっていた。そして、この実験途中においてテレピン油がま

るごと帯電しているのではないこと、それと同時に、伝導である可能性を考慮に入れていたこの現象が誘導の効果であることを発見したのであった<sup>(44)</sup>。すなわち、空気やテレピン油が極性を与えられるように帯電させられ、「空気もテレピン油もこの場合は非導体として働く (are active)」<sup>(45)</sup> 誘導の現象であるという確信を得たのであった。そのためファラデーは、このテレピン油を誘導の作用の主体として表現したのである。しかし、この実験においても、「これらの誘導の作用が液体中の流れ (current) を引き起こしている」<sup>(46)</sup> という考え、すなわち作用を担う粒子が移動するという考えは持ちつづけていた。

誘導の作用の主体であるテレピン油や空気が、極性をともなうて帯電することに確信を得たファラデーは、「すべての電荷は誘導あるいは極性の問題であることを示さねばならない」<sup>(47)</sup> という目標を掲げる。ここにおいて、誘導は極性をともなう媒質の作用であることが明確に意識されることになる。そして、この誘導と極性のつながりが明確に意識された段階で、理論のさらなる一般化への志向が生じる。これは、「極性を得る二つの方法がありえるのだろうか、一つは誘導によるとして、もう一つは他の何らかの状態によって。両者はおそらく一つの一一般原理に還元できるだろう。」<sup>(48)</sup> と述べていることからわかる。さらにファラデーはこの考察を推し進め、導体において電気はその表面上に現れるということと、荷電が誘導作用と不可分であることを考慮して、導体と絶縁体の違いを極の状態を保持する力の差に還元して、理論の一般化をはかる。これは次のような問いとして掲げられる。

3422. 導体はおそらく単純に極性のある状態が瞬時に放電されるような物質であり、実際ほとんど極性を仮定できない。可能なら、伝導の力 (power) が、金属とガラスあるいは樹脂のそれとの中間にあるようなもの (固体) を見つけよう。天然ゴムやロウはどうか<sup>(49)</sup>。

こうして、テレピン油を媒体とした誘導の実験によって、物質がつねに正と負の両方の極性をもつように帯電させられることと、そのように極性を与えられた物質が媒体となって誘導現象が起ること、そして誘導が必然的に極性をともなうことを、ファラデーは明確に認識したのであった。そのため、この実験の持つ意味は大きい。しかし、これはファラデーの「誘導の理論」の一部に過ぎない。理論の前提である 1669 バラグラフの内容は自覚されたものの、まだ作用の伝達が、連続する粒子の分極状態の伝達によるものだという認識はない。またそのため、「曲線状の作用」に意味が与えられているわけでもない。しかしファラデーは、理論形成に向けた大きな実感を抱き、「もしこの違いが一つの原理あるいは法則へと説明され還元されるのなら、おそらく科学のこの分野に測り知れない拡張がもたらされるだろう」<sup>(50)</sup> という希望のもとに、誘導の理論の電気現象への一般化に向けた考察を開始するのであった。しかし、前述のように、この段階で作用が連続した粒子の分極の連鎖によって伝達するという考えは抱いていないという点を再度強調しておく。ファラデーはむしろ、電氣的緊張の線を想定し<sup>(51)</sup>、それを当初から念頭にあった磁石との類似によって考察している。すなわち、磁石と同じようにその両端にのみ正と負の極が存在するものを想定しているのであって、分極の連鎖を想定しているのではなかった。これは、次の記述にも顕著である。

しかしこの力 (powers) は方向のみによって識別されるもので、磁針の要素にある北と南の力と同じように切り離せないものかもしれない。それらは本来は物質の粒子の中にある力の極点かもしれないし、前に私が与えた力 (powers) の軸として電流を描写することが、静止した電気の力についてのいくつか同様の一般的な表現を連想させる。電氣的緊張の線はどうだろう、もっとも私は正や負といった用語を、単にそのような線の終端の意味で用いるのだろうか<sup>(52)</sup>。

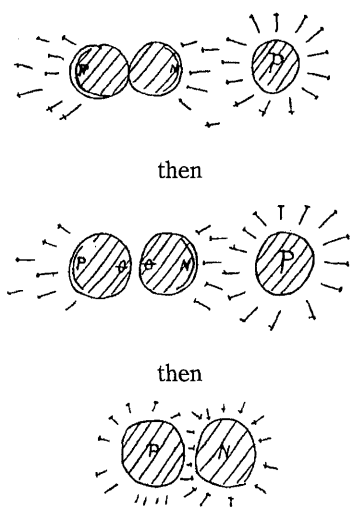


図5 粒子に極性を与える理論

そしてファラデーは、この緊張状態に着目して誘導の理論を形成することを次のように試みるのである。

私の実験を進めている限り、物体が絶対的に荷電されるということはありません、相対的にだけであり、誘導のそれと同じ原理による。すべての電荷は誘導によって保持される。緊張状態 (intensity) に属するすべての現象は誘導の原理に含まれる。すべての励起は私の見ることのできる限り誘導に依存している。すべての電流は先立つ緊張状態すなわち先立つ誘導を必要とする。誘導は電気の本質的な原理であるようだ<sup>(5)</sup>。

しかし、この緊張状態による説明は、単に状況の記述にとどまってしまいう説明であり、理論の発展を促さない説明であった。ファラデーにとって、理論化において望まれる説明とは、作用を物理的實在に帰属させる説明であった。この点については後に詳述することにして、議論を進めることにする。

次にファラデーは、導体がある物体から誘導の作用を受けることで、正か負のどちらか一方に荷電する様子を図(図5)を用いて考察する。

この図の第二段階では、分極している二つの導体球を引き



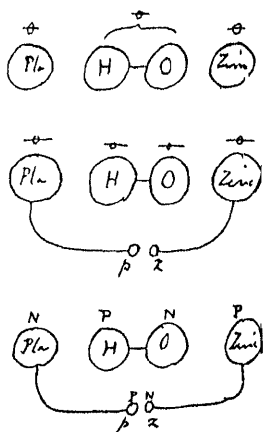


図6 電気分解の模式図 vi

離しているが、ここでは、つながっているとときに保たれていた中和状態は、離れてもそのまま保たれている。これは、誘導を磁石の比喩として認識していた点から考えても、ファラデーの理論に反することであるが、ファラデーはこれをとくに意識することはない(54)。

また作用を及ぼしている物体同士が距離を隔てて記述されている点も、後の理論との差異として重要な点である。ファラデーが、作用が遠隔的に及ぼされることについて多くの注意を払っていないという点は、図6の電気分解の模式図によってもわかる。

この電気分解の模式図において、電気が遠隔作用の力であるかどうかという点には注意が払われておらず、また、電気を運ぶ粒子が連続であるという点にも注意が払われていないことがわかる(55)。これは、テレピン油や空気における誘導の現象、そして電気分解においても同様に、作用粒子が実際に移動するためであると考えられる。そして、この移動が作用の本質であるのかどうかを疑い始めることによって、少しずつ誘導の概念が展開し始めるのである。これは、次の表現によく表れている。

空気やテレピン油の風あるいは流れ (current) は、副次的なもので本質的な結果ではないに違いないと思う。もしそれらが本質的なら、それらの作用は理解すべきとても重要なものであろう。本質的なのだろうか(56)。

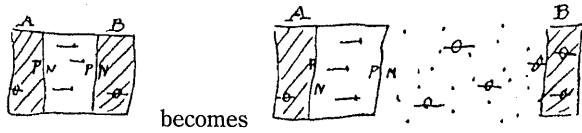


図7 導体の分離 vii

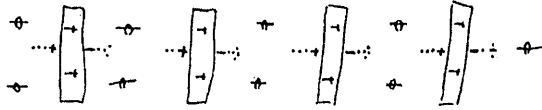


図8 起電物体間の空気の電氣的状態 viii

すなわちファラデーは、この図において、「あいだの空気はまったく極性が与えられたり帯電させられたりしていない」(88)と考えているのである。

この時点では極の間にある空気の粒子に分極を考えていないという様子がわかるいくつかの資料がある。たとえばこの時点でファラデーは、図7のように、荷電した起電物体を導体ではきみ、その一方を分離した場合、起電物体と導体のあいだの空気は極性をもたないと考えていた。

このことをファラデーが当然のことだと考えていた様子は、ファラデーが逆に起電物体の近くの空気が一方の極性にのみ帯電することを説明することの困難さを述べた次の記述および、その模式図(図8)によく表されている。

大きな難点は、明らかに極になることのできる粒子が、起電物体の粒子として、半分だけ極性を持った状態になること、すなわち、反対の状態にある表面に向いている側が正や負であるような状態、すなわち：：+や-：：で表せるような、がどのようにしてできるのかを解決することである。そのような粒子なら、互いを完全に放電させる力を持っているように思われる(89)。

しかし、それから一ヶ月後の一八三六年九月六日に、ファラデーは次のように、この年の一月以来となる「曲がった (curved)」という言葉を用いて、作用の線が曲線であることを再認識するのであった。

空気などを通じての誘導が直線ではなくさまざま、多くは状況に応じて曲がったりたわんだりした (curved or bent) さまざまな線において作用するということは、それが互いに影響を及ぼしあう連続した粒子の作用であり、距離を隔てた作用ではないということの強固な証拠である<sup>(59)</sup>。

そしてこの時点において、誘導が遠隔的な作用ではなく、連続する粒子の作用であるという点がファラデーにおいて認識されるのであった。この記述は『エンサイクロペディア・ブリタニカ第三版への補遺』<sup>(60)</sup>を引いて、ビオ (Jean-Baptiste Biot, 1774-1862) 、ポワソン (Siméon-Denis Poisson, 1781-1842) 、およびクーロン (Charles-Augustin Coulomb, 1736-1806) の理論に言及した直後に記述されている。そのためファラデーは、これらの科学者たちの理論において直線状の作用が採用されていたことについて、これを誤った理論であると再確認し、それによって逆に、この曲線状の作用が正しいものであると再認識したのだと考えられる。

これまでのファラデーが形成した理論で、当初の誘導の概念の内容に対する理論的説明はすべて与えられたと考えられるだろうか。もっともこの一八三六年九月の段階で、ファラデーが当初認識していた誘導の概念の内容、すなわち連続的な粒子の作用、極性、曲線状の作用などにはすべて理論的説明が与えられ、すべてが導体を基本とする一般的な理論にまとめられたといえよう。また、一八三八年に発表された誘導の理論についても、きちんと整理して論じられてはいないものの、その全ての内容について、この段階で認識済みであるといえるだろう。しかし、

ファラデーは理論が完成したとは考えなかったようである。なぜなら、『エンサイクロペディア・ブリタニカ』などに記載された先行研究をひいて理論の再検討をおこない、さらに新たな実験を続けるからである。

この一八三五年末から一八三七年までに期間に、ファラデーが研究日誌の中でもっとも明らかに言及している資料として、一八三六年九月一二日と一〇月一日に研究日誌で引用している『エンサイクロペディア・ブリタニカ第三版』<sup>(63)</sup>があげられる。ファラデーは『エンサイクロペディア』の「電気 (electricity)」の項を再検討しており、とくに「電気一般」と「誘導」についてファラデーは、「カヴァロ (Tiberius Cavallo, 1749-1809)」<sup>(64)</sup>による原理の優れた言明」をあげている。ここで、ファラデーがあげた、このカヴァロの理論に関する『エンサイクロペディア』の記述を引用する。少し長いが、ファラデーが学んだこの時代の電気に関する認識を理解するとともに、ファラデーが「原理の優れた言明」と記述した理由を探るためである。

『エンサイクロペディア』においてはまず、カヴァロの「電気の第一性質」として、「まさに逆の電気を帯びている他の物体と表面が対峙している場合を除いては、電気はどんな帯電した物体の表面にも現れるはずはない。そしてこれら逆に帯電した物体は起電物体によって引き離される。」<sup>(65)</sup>という点があげられ、続いて、空気の電気的性質が次のように述べられる。

空気は、一般に、いかなる帯電した物体の表面とも対峙しているような起電物体である。完全な導体ではなく、帯電した物体からわずかな距離にあるその表面の層に逆の電気を容易に帯びる。そして、この層の結果として、前者からわずかな距離をおいて、別の層が逆の電気を帯びる。こうしてこの別々の層が続いていき、交互に正と負の電気を保持し、それらの電気が消えてしまうまで力 (power) を減少させていくのだ。この断定的主張は、とくに以下で述べるような、いくつかの実験によって容易に証明される<sup>(66)</sup>。

すなわち、空気の層を考えて、その層が連続的に分極を繰り返すことで、帯電した物体に接する空気の層が物体とは逆の極に帯電するという現象を説明している。そして、電気流体論に基づいて、誘導が角をまわりこんで作用する説明を次のように与える。

正の電気は、あらゆる物体の細孔にある電気物質の振動に存しており、空気を通じた少し離れたところへ向けて、それと同時にその力は物体から外側へと向けられており、明白に、他のどんな物体でもこの圈内に持ち込まれれば、振動の方向は変えられる。だからその物体から外側へ向かうものは、他のものには内側へ向かうものなのだ。しかし、その力が内側へと向いているような振動は、負の電気を構成するようなものなのだ。そしてそれ故に、いかなる物体もある正に帯電したものからいくら離して置かれるとすぐに、突然に負になってしまうのだ。なぜ負の電気が正の性質をそれに近いところに置かれた物体に生み出すのかという疑問にも、同じ理由が与えられるだろう。負の性質では、振動の力は内側に向かされているのだ。もし他の物体をそばに持つてくると、最初のものにとって内側を向いていた振動は、続いているものには外側を向くことになり、そのため正に帯電したものとなる。ここでのただ一つの難点は、帯電した物体の近くに持ってこられた物体のある側面への内側あるいは外側だけに向かうこの運動が、突然ぐるっと取り巻く (all round) ように伝播することを説明することである。これはしかし、電気流体の極度の微細性と、すべての部分で決して平衡が破れないように平衡を保とうとするその作用から生じることなのだとということが容易にわかるに違いない。この流体がある物体の側面を内側に押したら、その物体に含まれている流体は即座に曲がり (yield)、その曲がりや他の側面のなものにも妨害されなければ、自由な通路を後続のものに作らしめる。この妨害は、電気物質の進行する

運動がそこを通過して入ることを許さない空気によって生じる。それ故、ある圧迫が一つの側面に対して及ぼされるや否や、反対の圧迫が他の側面に及ぼされる。そして物体は瞬時にぐるりと取り囲むように帯電されるのだ<sup>(65)</sup>。

以上の記述に対して、ファラデーが「原理の優れた言明」と記述した理由は、おそらくそこに記述されている現象が、自身の誘導の概念で重視していた現象の特徴を的確に押さえていることを見出したからだと言えよう。そして、自身がこれまで形成した理論で、それらの諸現象に対するカヴァロの理論的説明も刷新できることを見出したからだと考えられる。しかし前述のように、ファラデーはこの時点での自身の理論で満足することはなかった。「緊張状態」の説明をおこなった際に論じたように、ファラデーにとって理論に望まれる説明とは、作用を物理的実在に帰属させるような説明であったからである。そのためファラデーは「もし誘導が緊張状態において本質的な現象であるなら、そのような現象は物質を必要とするに違いない。」<sup>(66)</sup>と述べて、誘導が物質そのものの性質に依存して異なる強度ではたらく作用であることを実証するための研究、すなわち誘電容量の測定実験を開始するのであった。このようなさまざまな現象を一般的な理論で説明しようとする志向の下では、空気の「流れ」として考えていた放電の現象もまた、粒子の極性の影響であるとして、実験による確認を見ないままに次のような文章として再認識される。

おそらく放電は誘導、すなわち粒子の極性、によって先導されるのであるから、その事実は、誘導が曲線状であり異なる物体にも異なる度合いで起こることを示しているのだろう<sup>(67)</sup>。

以上のようにファラデーは、それぞれの電気現象についての理論を一般化する過程で、いくつかの考察不足や論理的不整合といった問題を残しながら、しかしこの一般化された理論を確信へと導くための模索を続けたのであった。

#### 四、一八三六年末、誘導容量の測定

ファラデーは、一八三六年一二月から図2左の装置を用いて、物質に「固有の誘導容量 (specific inductive capacity)」の測定実験を開始する。この実験の目的は、物質によって静電容量が異なる様子を測定し、誘導が物質それ自身の性質に依存する作用であることを実証するためであった。これは次に述べられるように、当時としても一般に承認された考えというわけではなく、発展的仮説といえるものであった。

クーロンによると、すべての伝導物体は同じ容量を持つ。さて私が絶縁体が異なる容量を持つことを示すことができれば、誘導における電気が起電物体に存するのであり、導体に存するのではないということにかなりの見込みがあるのではないだろうか<sup>(68)</sup>。

そして、この誘導の容量を測定するための実験で最初に取り組んだのは、空気の濃度による誘導作用の強度の違いであった。しかし実験では、「酸素が持っている誘導作用の容量は水素より少ない」<sup>(69)</sup>など、気体の種類による誘導容量の違いは測定されたものの、「空気の疎密は誘導の力や容量になんらの変化も引き起こさない」<sup>(70)</sup>という測定結果を得る。すなわち、連続的な粒子の作用によって説明を与えるファラデーの理論は、少なくとも放電現象などの空気の疎密が作用の強弱にかかわる現象を説明できなかったのであった。そして、この誘導容量の測定実験は

その後もさまざまな物質で続けられるものの、この容量に関する理論的考察はほとんどおこなわれなままであった。おこなわれるのは、「物質の絶対的な電荷がないということ」<sup>(71)</sup>や、「誘導の角をまわりこむ作用」<sup>(72)</sup>、「誘導と充電の関係」<sup>(73)</sup>といったような、これまでの理論の再確認に過ぎなかった。すなわち、誘導が物質によって異なる強度ではたらく作用であることを、ファラデーは自身の理論の下に、十分に実証することができなかったのである。

## 五、一八三七年一〇月、流れない空気

図2左の実験装置で物質に固有の誘電容量の測定実験を続けるうちに、シエラック製の絶縁軸を濡れた布で拭くと、その絶縁軸1が帯電してしまい、この帯電によって球Bには電荷が誘導されていることが判明した<sup>(74)</sup>。このためファラデーは、一八三七年一〇月三日からこの問題の対策を検討しはじめた<sup>(75)</sup>。この問題設定からもわかるように、そして、この日の実験の関心は絶縁軸1の帯電を防ぐ方法を模索することにあつた<sup>(76)</sup>。そのため、この日の実験では球Bに電荷が誘導されているかどうかだけを確かめればよかつたため、球Bに誘起された電荷を測定する点は図2左の装置のk点のみであつた。しかしこの問題を検討するうちに、ファラデーは、その三日後の一八三七年一〇月六日になって、球Bにおける測定位置を変えた実験を偶然にもおこなつたのである<sup>(77)</sup>。この日の実験においてファラデーは、図2中央の装置のb点だけではなくd点における電荷の量も偶然に測定したのであつた。これは、経過時間による誘導電荷の量が推移することを測定したその最後に、d点での電荷を測定しながら、球Bの放電を確認するためであろうか、b点を指で触れ誘導電荷の有無を確かめ、それによってb点とd点では軸からの誘導がおよぼす作用が異なることを発見したのであつた。そしてファラデーは、翌一〇月七日に図2右に記されるようないくつかの点で再度測定をおこなうのであつた。そして、それぞれ異なつた値を得たファラデーは、それらの値の違いが、軸からの誘導が曲線状に作用していることに起因することを確信して、次のように述べるのであ



る。

曲線状の誘導のよい証拠が、これら軸からの誘導の効果で得られており、そのような曲線状の作用は、ある固有の容量よりも、分子の作用のよりよい評価基準であるように思われる<sup>(78)</sup>。

すなわち、誘導の容量を測定する実験そのものにおいては、空気の疎密による誘導作用の強度の違いが測定されなかったため、ファラデーは誘導の理論を十分に実証することができなかったが、この測定においては、その同じ空気を媒質として曲線状に作用が及ぼされているという誘導の理論を支持する強固な実験的証拠を得たのであった。ここで、媒質である空気が流れていないことが、発見のための重要な条件であったといえる。放電や電気分解といった現象においては媒質の流れがあったために、「連続的な粒子の作用」という考えと、それによって「極性」が徐々に引き起こされて作用が伝播するという考えが相補的に結びつく必要性はなかったが、媒質の流れがない状況下にあっては、両者が密接に結びつくことが一つの理論を構成するために重要だったからである。

本論文の第一節において先の一八三七年一〇月七日の文章を引用し、「誘導」「曲線」「分子の作用」「固有の容量」の四つのキーワードに注目して考察を進めると論じた。これまでの議論で、「誘導」「曲線」「固有の容量」という三つの言葉については言及済みである。しかし本論文において、「分子の作用」についてはこれまで一度も言及していない。これは、誘導の研究が開始された一八三五年一月から、この一八三七年一〇月七日までの間、一度もファラデーが「分子 (molecule)」という言葉を用いていないからである。そもそも、この「分子」という言葉は、ファラデーがほとんど用いない言葉であった。例えば、『電気実験研究』の項目索引を引いても、「分子」について

記述のあるのは、この誘導に関する一八三七年一月の論文に二回と一八二二年の「水銀の分子の引力」<sup>(79)</sup>に関する記述だけである。しかし、この文章がまさに誘導の理論の確信を得たことを示すために書かれた文章であることを考慮すると、この「分子の作用」という言葉を、ファラデーが気まぐれに使った言葉として軽視するわけにはいかない。一八三七年の論文中でも「特有の分子的配列」<sup>(80)</sup>など、誘導の概念を表現するためのキーワードとして用いられているからである。

そもそもファラデーのこの「分子」という言葉には、どのようなイメージが含意されていたのだろうか。しかしファラデーののこした資料の中には、この「分子」の定義を特定できる記述はない。そこで、同時代の議論に注目すると、参考となる記述にアンペール (André-Marie Ampère, 1775-1836) の定義がある<sup>(81)</sup>。一八三五年一月に『フィロソフィカル・トランザクション』誌上で英訳され紹介された論文の中で、アンペールは「粒子」と「分子」と「原子」という三つの言葉の関係について、次のように定義している。

私は、それと同じ性質を持つ物体の限りなく小さな部分を粒子と呼ぶ。そのため、固体の粒子は固体、液体の粒子は液体、気体のは気体の形である。粒子は互いから少し距離をおいて保持された分子から構成される。(中略) 分子という用語を、私は、すべての原子に特有の引力と斥力によって互いから少し距離をおいて保持された原子の集合に与える。(中略) 私が原子と呼ぶものは、これらの引力と斥力が発出する物質的な点である。この分子と原子の定義から、それが属する物体が固体や液体や気体のどれであろうと分子は本質的に固体であることになる<sup>(82)</sup>。

この論文は物体の熱伝導の理論を論じている論文ではあるが、物質の構成要素を階層的に表す言葉として、この

「粒子」と「分子」と「原子」の定義が同時代的に共有されていたとすると、ファラデーがここで「分子」という言葉を用いた理由が理解できる。すなわち、このように流れない空気が曲線状に誘導の作用を伝播していることを観測した時点で、ファラデーは物質の「分子」そのものがその電気的性質によって誘導の作用を伝播している様子を明確に見て取ったのである。

本論文の第三節において、ファラデーにとって理論に望まれる説明とは、作用を物理的実在に帰属させる説明であったことを論じた。そしてファラデーは誘導の作用が物質に帰属することを実証するために、物質に固有の誘電容量を測定する実験をおこなったが、その誘電容量の測定においては、望ましい理論の形成には至らなかった。しかし、その過程でファラデーは、誘導が曲線状に作用するという測定結果を偶然に得ることができたのであった。この曲線状作用を示す測定結果を得ただけであれば、これまでも認識していたように、誘導が曲線状に作用することを再確認するにとどまっただけである。しかし、この実験がおこなわれた段階で、誘導の理論はほぼ形成されており、あとはそれらが整理されて、物理的実在に帰属する理論的説明のもとで再認識されるのを待つだけの状態であった。そして、誘導容量の測定実験そのものにおいては予想していた結果が得られなかった空気という媒質において、それが流れないという点で、逆に理論の再構成を促すような実験結果が得られたのであった。そしてファラデーは、一〇月七日の記述にあるように、誘導が曲線を描いて作用する様子に「分子の作用」を読み込み、さらに図6の電気分解の模式図に示されるように<sup>(88)</sup>、物理的実在である分子そのものの構造に電気的性質を読み込むことで、連続する粒子それぞれに分極状態が生じることで誘導の作用が曲線状に「分布」するのだという理論として自身の考えを整理することができ、自身の誘導の理論を確信するにいたったのである。

しかしこの「分子」という言葉は、理論を確信に至らしめる言葉としては、具体的かつ有用であったが、誘導の

理論として発表するには限定が強すぎ、また実際に「分子の作用」であることを実証することもできなかったために、従来の「粒子」という言葉が主に用いられて最終的な理論形成がなされたと考えられる。

## 六、結論

本論文の冒頭に掲げた主要な関心を、再びファラデーの「誘導」の理論形成の過程において考え直してみる。この「誘導」の場合、概念が整理されて認識される直前に、それを構成する理論の内容は、ほぼ全て、その後に発表される形とほぼ同じ形で認識されていたといえる。しかし、理論の内容がほぼすべて認識された時点で、その概念を獲得していたとはいえない。なぜなら、この時点では理論が完成されたという実感が伴っていなかったからである。理論の完成を実感し、それぞれの理論を結びつけるためには、ファラデーの場合においては、物理的実在に帰属する理論的説明を与える必要があった。そしてその鍵となったのが、ファラデーにおいては「分子」であった。もっとも、この「分子」は、理論において限定が強すぎたため、発表された論文においては、より一般的な「粒子」という言葉が主として用いられることになる。そのため、理論としては、この一八三七年一〇月六日の実験の前後において大きな変化をみないにもかかわらず、誘導の概念そのものにおいては、論文としての発表に踏み切るための、概念獲得や理解の大きな実感を伴う質的変化が生じたのであった。ファラデーの「誘導」理論に即して論ずる限りでは、ある概念を構成する内容をそれぞれ認識した段階において、その概念そのものも獲得されたのだということとはできないと考えられる。

## 註

### ○凡例

- 基本文献は以下のように略記した。  
*Correspondence*: F. A. J. James, ed. *The Correspondence of Michael Faraday* (4 vols., London, 1991-1999) (incomplete)  
*Diary*: T. Martin ed. *Faraday's Diary* (7 vols., London, 1932-6)  
*ERR*: M. Faraday, *Experimental Researches in Electricity* (3 vols., London 1839-1855)
- 引用文中の“ ”は「」で、イタリックは傍点で表記した。
- ファラデーは「力」に関して‘force’と‘power’とどう二つの語を使い分けているが、訳出にあたっては、前者を「力」とし、後者を「力 (power)」とした。
- 訳出にあたっては、次の訳語を用いた。  
body: 物体 / matter: 物質 / particle: 粒子 / molecule: 分子 / communication: 伝達 / transference: 移動 / transmission: 伝送 / translation: 移行 / propagation: 伝播 / polarity: 極性 / polarization: 極性を与えること (分極ではなく) / charge: 電荷 (ただしコンデンサーの実験においては充電) / electrification: 帯電。
- 『電気実験研究』の引用中に記述される括弧内の数字は、ファラデーによってつけられたものであり、『電気実験研究』の段落に対応している。

(一) この「誘導」については、David Gooding や Howard J. Fisher (*Faraday's Experimental Researches in Electricity* (Green Lion Press, 2001)) が、ファラデーの研究日誌をひらいて論じている。とくに Gooding は著書 *Experiment and the Making of Meaning* (Kluwer Academic Publisher, 1990) の第九章 ‘Empiricism in Practice’ で誘導について論じている。これは、誘導について扱った研究の中では最も新しくかつ詳細なものである。Gooding は「誘導の重要性が早くから発見的役割を持つようになり、極性と隣接性の概念として展開していくことが、電気と物質の一般的理論の鍵となる説明概念へとなったことを、実験「日誌」が示している」(Gooding (1990), p.224) として、一八三三年から一八三六年を中心に流体論から粒子論へとファラデーの考えが移行していく過程を論じて、この誘導の理論の構築過程を論じている。Gooding は、例えば、この期間にファラデーが新しい用語を導入しなかったことを論点としてあげる。つまり、用語を使用していく上での意味上の緊張関係がこの期間に高まり、その結果として理論の再構成が促され、そのためファラデーは「誘導という用語の新たな意味を自然哲学の語彙に導入した」(Gooding (1990), p. 221) のだと論じている。また、Gooding は誘導の理論の確信へと至る決定実験 (the crucial

experiment)として、一八三六年二月からおこなわれた、いわゆるファラデー・ケージの研究を取り上げている。

- (2) William Whewell, *History of the Inductive Science* (3rd ed, London, 1857) vol. 3, p. 522, (1st ed, published in 1837)
- (3) 十八世紀における誘導に関する理論については、後述の『エンサイクロペディア』のカヴァロの理論も参照
- (4) "Dr. Faraday's Views of Statical Electric Induction", Whewell, op. cit., pp. 522-523, このファラデーについての付記は "Additions to the Third Edition"として巻末 (pp. 522-523) に所収されている。初版はファラデーが誘導について発表した年と同じ一八三七年に出版された。
- (5) Whewell, *op. cit.*, p. 522
- (6) Whewell, *op. cit.*, p. 522
- (7) Whewell, *op. cit.*, p. 523
- (8) トムソンは一八四三年以降、ファラデーが発表した誘導の理論について、とくにフランスなどで試みられていた数学を用いた定式化と整合性を持たせるための研究をおこなった。さらにマクスウェルは、トムソンと直接の交流を持ち、この数学による定式化の研究を進めて一八五六年に発表した。(J. C. Maxwell "On Faraday's Lines of Force" *Trans. Camb. Phil. Soc.*, vol. 10 (1856), pp. 27-83)
- (9) *ERE*, vol. 1, 1667
- (10) *ERE*, vol. 1, 1669-1678
- (11) *ERE*, vol. 1, 1166
- (i) *ERE*, vol. 1, fig. 106
- (12) この装置は、中央のマルデブルク球殻の外球と内球が絶縁されてコンデンサーになっており、あらかじめ内球に電荷を与えた後、保持される電荷の量の時間経過を測定することで、誘導の容量(今日の比静電容量)を測定するものであった。内球の電荷はシェラック製の絶縁軸の内部を通る導線を通して球Bに達するため、内球に保持される電荷は球Bで測定されるようになっている。
- (ii) *ERE*, vol. 1, fig. 104, *Diary*, (6 Oct. 1837), and *Diary*, (7 Oct. 1837)
- (13) *Diary*, (7 Oct. 1837) 4016
- (14) *Diary*, (7 Oct. 1837) 4017

- (15) 通常、現在の物理学において、*specific* は物質のある量のとった意味で用いられ、邦訳においても「比」という訳語が  
あてられている。ただし、この *specific* が「比」といった意味で用いられるようになるのは、まさにファラデーの時代から  
であり (*OED* の *specific* の項を参照)、ファラデー自身はこの *specific* という言葉をこの段階では未だ「固有の」といった  
意味で用いていると考えられる。そのため、この論文においては一貫して「固有の」と訳出した。
- (16) ただし、今回の分析対象とした期間において「Induce」という言葉がそのまま動詞として用いられることはない。(ただし、  
本論で言及するように、*conduct* という動詞は用いられる。) 本論であげた「Induction」「Inductive」の他は「Induced」や  
「Inducing」などの分詞形、あるいは「Inductor」という形で用いられているが、ほぼ前者の二つの形、とくに「Induction」と  
いう名詞形で用いられている。
- (17) 例えばその一年前の一八三四年には電磁石と誘導電流 (*Induced current*) との関係を調べる研究がおこなわれている。ま  
た、その直前の一八三五年一〇月までは物性の研究がおこなわれていた。
- (18) *Diary*, (3 Nov. 1835) 2468
- (19) *ERE*, vol. 1, 923
- (20) この電解質自身が伝導するという考えは、続く一八三五年六月の論文のまとめの記述においても顕著に表れている。「1158.  
分解される電解質、あるいは他の挿入物体の移動力 (*transferring power*)、あるいは通常呼ばれるところでは、伝導力 (*con-  
ducting power*) ができるだけよいものを与えられるべきであるのは、明白である。(1020, 1120)」(*ERE*, vol. 1, 1158)
- (21) *Diary*, (3 Nov. 1835) 2497、なぜなら、*ちまちま*な起電物体の中に置いた金属球を同じ共通の電源により荷電すると、*まわ  
り*の起電物体が異なることで、*励起*される電荷からの「発散」が異なることを観測したため。
- (22) *Diary*, (3 Nov. 1835) 2501
- (23) *Diary*, (3 Nov. 1835) 2509
- (24) このあらかじめ分極しているわけではないという点は、誘導の理論においても保持される考えである。
- (25) *Diary*, (3 Nov. 1835) 2523
- (26) *Diary*, (3 Nov. 1835) 2525
- (27) *Diary*, (3 Nov. 1835) 2531
- (28) 等電位の点を結ぶので、実際には面になるが、平面上に記述しているため、線として表現される。

- (37) *Diary*, (8 Dec. 1835)
- (38) *Diary*, (8 Dec. 1835) 2731' 括弧内は筆者
- (39) *Diary*, (8 Dec. 1835) 2733
- (40) *Diary*, (12 Dec. 1835) 2766
- (41) *Diary*, (22 Dec. 1835) 2768
- (42) *Diary*, (15 Jan. 1835) 2834-2849
- (43) *Diary*, (16 Jan. 1836) 2867' 詳細には「誘導はそれゆえ疑うべくなく曲線を描く。分解している溶液中でそうであることは、それが角を曲がることになつて容易に示されるし、空气中でも上で述べたように、放電がガラスの端を周りを通過することや、針先がガラスの向かう側から面に向かつて放電することなどによつて、容易に示される。」
- (44) *Diary*, (3 Nov. 1835) 2529
- (45) *Diary*, (4 July. 1836) 3250
- (46) *Diary*, (4 July. 1836) 3250
- (47) *Diary*, (4 July. 1836) 3250
- (48) *Diary*, (4 July. 1836) 3269
- (49) *Diary*, (4 July. 1836) 3269
- (50) *Diary*, (4 July. 1836) 3253
- (51) *Diary*, (21 June. 1836) 3134 *Diary*, (25 June. 1836) 3182 など
- (52) *Diary*, (21 June. 1836) 3121, 3125 など。ただ、ファラデーがこのように直線状の作用を「美しい」と表現したにせよ、誘



導の作用が本質的に直線状であるべきだと考えていたとみなすような証拠はない。

(iii) *Diary*, (21 June, 1836) 3121  
 (42) *Diary*, (11 July, 1836) 3372, テレピン油とは、松の樹液を蒸留精製してできる植物性精油。ランプ用の灯油のほか、衣服等のニツ抜き剤、あるいは油絵具や画用液の溶剤などとして用いられる。

(44) *Diary*, (11 July, 1836) 3362

(45) *Diary*, (11 July, 1836) 3371

(46) *Diary*, (11 July, 1836) 3373

(47) *Diary*, (28 July, 1836) 3405

(48) *Diary*, (29 July, 1836) 3412

(49) *Diary*, (29 July, 1836) 3422

(50) *Diary*, (3 Aug, 1836) 3424

(51) そもそもファラデーにおいて、「電気的緊張状態 (electro-tonic state)」という言葉が、電気の伝わる傾向を示す用語として、この誘導の研究をおこなう以前から、用いられていた。この言葉は、後にマクスウェルが誘導の理論化する際に再び用いられることになる。

(52) *Diary*, (3 Aug, 1836) 3423

(53) *Diary*, (3 Aug, 1836) 3425, intensity は通常は「強度」と訳されるが、適当ではないと判断して、ここでは「緊張状態」という訳語を用いた。

(v) *Diary*, (3 Aug, 1836) 3443

(54) これは誘導の理論のパラグラフ一六七二において、導体全体が「まるごと荷電される」という場合にあたる。また、これについてファラデーがその後、詳しく論じることはない。そのため本論文では、ファラデーがどれほど厳密に「polarize」という作用を「分極」として考えていたかどうかが不確定であるため、「極性を与える」という訳語を採用した。

(vi) *Diary*, (3 Aug, 1836) 3405

(55) このように、電気を運ぶ粒子が連続であるという点に注意が払われていないということは、この誘導の研究の前におこなわれた電気分解の研究の考察とは食い違うことである。しかしそれゆえに、この模式図は、この時点でファラデーが電気分

解の現象の本質とみなそうとしていたところを表現しているのだと考えられる。

- (9) *Diary*, (3 Aug. 1836) 3478
- (10) *Diary*, (4 Aug. 1836) 3483
- (11) *Diary*, (4 Aug. 1836) 3500, ついで「……+」と「……」の図記号は、作用の伝達して来た（行く）側には極性がなく（そのため点線で表示してゐる）、作用の終端には正や負の極性が現れていることを表している。
- (12) *Diary*, (8 Aug. 1836) 3503
- (13) *Diary*, (8 Aug. 1836) 3503
- (14) *Diary*, (6 Sept. 1836) 3512
- (15) *Supplement to the Third Edition of the Encyclopaedia Britannica* (London, 1801)
- (16) フアラデーが彼の友人であるアボット (Benjamin Abbott, 1793-1870) に語つたところによると、フアラデーは徒弟時代に科学に関する書籍を独学で学んだといわれる。とくにフアラデーは、Mrs. Jane Marcat (1769-1858) の『化学についての会話』*Conversations on Chemistry*, 3rd ed. (2 vols., London, 1806) とよんで、『エンサイクロペディア・ブリタニカ』*Encyclopaedia Britannica*, 3rd ed. (1797) の「電気」の項を多くを学んだといわれる。(H. Bence Jones, *Life and Letters of Faraday* (London, 1870), p. 11)
- (17) カヴォーロはイタリアのナポリで生まれ、一七七一年にイギリスに移住。フランクリンの嵐の研究にはじまり、とくに大気に関する電気学の研究をおこなった。彼の代表的な著作である『*A Complete Treatise on Electricity in Theory and Practice*』は電気学の初学者の必要をよく満たす良書であったが (DSB 参照)、フアラデーがこの著作を読んだかどうかは不明である。
- (18) *Encyclopaedia Britannica* (3rd ed., London, 1797) p. 444
- (19) *ibid.*
- (20) *ibid.* p. 461
- (21) *Diary*, (12 Sept. 1836) 3574
- (22) *Diary*, (1 Oct. 1836) 3589
- (23) *Diary*, (21 Oct. 1836) 3591
- (24) *Diary*, (3 Jan. 1837) 3649

- (70) *Diary*, (29 Dec. 1836) 3639
- (71) *Diary*, (24 July 1837) 3773
- (72) *Diary*, (24 July 1837) 3771
- (73) *Diary*, (24 July 1837) 3774
- (74) *Diary*, (30 September 1837) 3987
- (75) *Diary*, (3 October 1837)
- (76) この結果、濡れた絹布で拭いた後に乾いた絹布で拭き替えることがわかった。( *Diary*, (3 October 1837) 4005)
- (77) *Diary*, (6 October 1837) 4010
- (78) *Diary*, (7 Oct. 1837) 4016
- (79) *ERE*, vol. 2, p. 156
- (80) *ERE*, vol. 1, 1164
- (81) オリジナルは一八三三年。Trevor H. Levere, *Affinity and Matter* (Oxford, 1971) pp. 116-119 参照。他に、Cantor による「ベンヤミン (Charles Babbage, 1791-1871) とハーシェル (John Frederick William Herschel 1792-1871) は、磁気も含む分子ごまごまの誘導の作用を主張した」(Geoffrey N. Cantor, *Michael Faraday: Sandemanian and Scientist* (Macmillan, 1991), p. 237) での Cantor は、ベンヤミンとハーシェルが分子を主張したと扱っているだけで、それ以上のことは論じていない。) が、一八二五年に発表されたその共著論文 (C. Babbage and J.F.W. Herschel, "Account of the Repetition of M. Arago's Experiments on the Magnetism Manifested by Various Substances during the Act of Rotation" *Phil. Trans.*, vol. 115 (1825), pp. 467-496) には、若干「分子」という言葉を用いて論じているものの、ベンヤミンにしてもハーシェルにしても、一八三七年かそれの数年前までにおいてファラデーとくつか書簡のやり取りをしているが、そこで「分子」について論じている形跡はない。また一八三七年当時に発表されていたハーシェルの著作として、彼の著書に数えられる *A Preliminary Discourse on the Study of Natural Philosophy* (London, 1831) があげられるが、この著作においては「電気と磁気」という章があるものの、とりたてて「分子」について論じられることはない。またベンヤミンはこの一八三七年にブリッジウォーター論集の第九巻として *The Ninth Bridgewater Treatise: a Fragment* (London, 1837) を出版しているが (ファラデーもそのなかへ読んで)。See *Correspondence, Faraday to Babbage*, 25 May 1837, Letter 1001) での「分子」について論じられることはない。

- (82) "Note by M. Ampère on Heat and Light considered as the Results of Vibratory Motion" *Phil. Mag.*, Ser. 3, Vol. 7 (1835), p. 343' *Philosophical Magazine* の十一月号に於て、この英訳はファラデーの議論 (Michael Faraday "Reply to Dr. John Davy's "Remarks on certain Statements of Michael Faraday contained in his 'Researches in Electricity.'"" *Phil. Mag.*, Ser. 3, Vol. 7 (1835), pp. 337-342' アンペールの論文の英訳は、この同じ三四二ページから掲載されている。) に続いて掲載されており、ファラデーが読んだ可能性も高いと考えられる。また、この直前の一八三五年九月に、ファラデーはヒューエルと誘導について書簡上で議論する上でアンペールの理論にも言及している。( *Correspondence*, 9, 19 and 25 September 1835, Letter 813, 814 and 816)
- (83) しかしここでは、分子に内在する電気的分極に言及している記述はあるが、あくまでこの「分子」という言葉は用いられない。