

О.Н. Деревенский 「電気と目隠し鬼ごっこ」

日本語版について

この訳文は、論文"Деревенский О.Х., Жмурки с электричеством" のロシア語原文からの全訳である。原文は <http://newfiz.info/elvo-opus.htm> に掲載されている。

著者： アンドレイ・アリベルトヴィッチ・グリシャエフ（Андрей Альбертович Гришаев, Andrei Albertovich Grishaev）（本名）。ロシアの無所属の物理学者で、自身の個人サイト "Наброски для новой физики"（新たな物理学のためのスケッチ）（<http://newfiz.info/>）において注目すべき多数の論文や本を発表している。

О.Н.Деревенский（О.Х. Деревенский, О.Н. Derevenskii）は筆名である。著者は、本論文のように非常にくだけた、しかもかなり皮肉っぽい調子で書かれた一般読者向けの論文ではこの筆名を使っている。

訳者： 吉田 正友（サイト：「物理の旅の道すがら」 <http://naturalscience.world.coocan.jp/>）

日本語版公開：2017年2月

* 訳文中の角括弧 [] 内は訳注である。

O. H. デレヴェンスキー

電気との目隠し鬼ごっこ

「いたる所で稼働している電気機器は、電気の本性についての深い科学的理解がなければ存在し得なかつたであろう。」

(論集『大科学者たちのジョーク』より)

「昔々、ある王国で、ある平凡なプログラマーが夢中になってキーボードを叩いていましたとき。名は名無しの権兵衛。ところがなんとある日のこと、そやつがキーボードを叩いていたら、コンパイラーがプログラムに何か結構なものを出力してくれて、そいつがコンピューターの画面に青球と赤球を描き出したんだ。青球と赤球の大群。ところがそれは単純なやつらじゃなくて、所与の諸性質を持っていた。

球どもは諸性質を持ちて、
ダンスを踊る能力を備えり！
されどダンスはおのずと進むにあらず、
そは所与のプログラムに従えり。
ゆえに機敏にして陽気なるは、
そのプログラムなりき！

そのダンスが始まるためには、例えば、画面上のある所では青球が優勢になり、別の所では赤球が優勢になるように、球たちをグループ分けする必要があった。それが済んでから、「おのずと動く」許しを与えた上で、球たちを「解放」してやった。すると驚いたことに、球たちは画面上のいたる所で青色と赤色の量が等しくなるように動き始めたのだ！ この不思議な光景を観察していた者には、異なった色の球たちは互いに引き付け合い、同じ色の球たちは互いに斥け合っているのだという印象が生じた。しかし、話はそれだけじゃない！ 同じ色の球たちの集団運動——例えば、ある閉曲線に沿った運動——を強制的に組織化することができたのである。しかも驚いたことに、「おのずと動く」許しを与えられている隣り合う球たちは、その強制的な色の流れを可能な限り補償しようとしたのだ^{〔訳注〕}！ 強制的に動かされているのが青球の場合、自由な赤球は、青い流れと同一方向に動くことになるように自分の運動を曲げていた。ところがそのとき、自由な青球は、それとは逆に、青い流れと反対方向に動くことになるように自分の運動を曲げていた。静止している球たちが互いに作用しているだけでなく、運動している球たちも互いに作用し合っているという印象が生じる。すべては論理的だ。つまり、もし静力学的作用が青色と赤色の静力学的分離を解消しようとする、動力学的作用は青色または赤色の流れを補償しようとするのである。

さて、とあるパソコンのそばに、ぼんくらユーザーが座っていましたとき。彼はそのダンスを踊っている球たちを見つけて、気が狂わんばかりに喜んだ。そしてそれを使ってずっと遊び続けたが、それでも遊び足りないほどだった。ぼんくらユーザーはモニターだけ

〔訳注〕 ここでは「補償流」を想起されたい。

を見ていたので、球たちのダンスはプログラム（ソフトウェア）によって実現されていることにまったく気づかぬまま、相互作用するという性質は球自体に固有の性質だと、深く確信したのだった。彼は並外れた探求心を持っていたので、球たちにダンスを踊らせる力を生み出す球の性質とはいったい何であるかを考え出そうとし始め、懸命な努力を傾けた。両耳から湯気が立ち上がり始めるほどまでに、その並外れた探求心を振り絞ったのであった。で、何か成果はあったの？ かわいそうに、努力は無駄だった。問題は球の性質にはなかったのだ。球の性質には色——青か赤か——しかなかった。しかし、この性質はいかなる力も生み出していなかったのである……。」

「青色と赤色」を「負電荷と正電荷」、そして「ぼんくらユーザー」を「正統物理学」という意味に取れば、この小話では、電荷のこの科学的本性についての今日の理解のレベルがきわめて正確に描き出されていることがわかる。電気に関する教科書の著者たちが電荷とは何かという問題をたくみに回避しているのには、下心があるのだ。彼らは我々にこう説明する。「概して言えば、それは電気量だ」と。バッチシ！ では、電気とは何か？ 概して言えば、電気とは電荷である、だろ？ ところで、教科書の著者たちは、ある誘導を行なっている。いわく、それは離れた電荷の相互作用を生み出す性質である、と。彼らに「では、いかにして“生み出す”のか？」と質問すると、彼らはやすやすとこう説明する。「それは、我々の見事な数学的公式が記述しているようにしてだ！ いいかい子供たち、問題の数学的側面を学びたまえ！」。ところがいつの頃からか、彼らは子供たちにこっそり、こっそり耳打ちし始めた。いわく、電荷はただ単に離れた所で相互に作用しているだけじゃない。電荷は電磁場を生み出しているのだ。すると今度は、その電磁場が電荷に作用する。物理的にいかにして「生み出し」、いかにして「作用する」かは、まともや大きな大きな秘密なのだよ、と。彼らは子供たちにこう説教する。「小さなことで満足することに慣れたまえ。そして、数学的道具立ての美しさだけで満足しなければならぬ！」。

優先順位が鉄筋コンクリートの的に設けられているこの高度に科学的なアプローチは、必ずしも常に羽振りを利用していたわけではない。例えば、ファラデーとマクスウェルは、多元論の野蛮な嵐が吹きまくる雰囲気の中で仕事をしなければならなかった。当時、科学上のあらゆる最新成果に対する科学界の反応の仕方は、きわめて特徴的なものだった——その成果とは正反対の意見を言い張り始める科学者たちが、即座に現われたのである。電気の担体は物質粒子だと誰かが言い出すべきはずだったが、ちょうどその頃、電気とは物質に依存しない流動体（重さのない流体）であると主張する、利口ぶった人間たちが這い出てきた。彼らが言うには、その流動体は物質の小塊中に流入し、またそれに劣らぬほどどうまいことそこから流出する能力を持っている。いわく、ある符号の電気はその流動体の余剰から生じ、それと別の符号の電気はその不足から生じるのである。それよりもっと地位の高い専門家たちは、（電気のタイプの数が）1つの流動体ではなく、2つの流動体について論じていた。誰かがインスピレーションによって電気流動体という着想を得て、その物理的モデルを構築し始めるべきはずだったが、ちょうどその頃、物理学的仮説を立てることを避ける純粋な記述的アプローチの擁護者たちが声を発していた。いわく、我々は計算のための数学的道具立てを持っていて、それでうまくやっているのだから、それ以上のものは不要だ。それらの記述者たちに対して真っ向から反対して自らの旗を掲げたのは、帯電物体は離れた所から直接互いに——純粋・具体的に数学的に——作用すると

いうコンセプトの狂信者たちであった。しかしその時、「それは物理学的ではない」、離れた帯電物体の相互作用は必ず媒体を必要とするという、辛辣な批判の声が湧き起こった。いわく、その媒体の物理的モデルなんて糞くらえ、我々はそんなものなしでやっていく、でも、媒体自体は何がなんでも必要だ！ でなきゃ「物理学的ではない」！ 特に面白いことに、この無秩序状態全体はさらに国別の特徴に関しても進んでいた。イギリスの学者たちはドイツの学者たちにげんこつを食らわせつつ、それと同時にフランスの同僚たちの足蹴りからたくみに身をかわしていた。この「友好的射撃」による損害は莫大であった。

口にするのも恥ずかしい話だが、彼らの間ではそんな大混乱が科学と呼ばれていたのである。それは明らかに、誰かの不手際のせいだった。現在はどうかと言えば、科学界では完全な秩序が確立されている。文部省に承認されたもの、それが科学であり、それ以外のすべては疑似科学なのである。今日では、そんじょそこらの女の子でさえ、お望みとあらば有名な科学者と有名な疑似科学者を区別することができる。

すべてはそうなるであろうということを、マクスウェルは知っていたに違いない！ 子孫たちが彼に感謝しつつ、彼の理論をどう取り扱うようになるかを、彼は知っていたに違いない！ その子孫たちはこう宣言しているのだ。いわく、マクスウェルは電磁場理論の基礎を創出したのだ、と！ おじさんたち、あんたらはマクスウェルの『電気磁気論』を読んだことあるの？ いいかい、彼はこの本でこう書いているんだよ。「電場——それは、電気現象の観点から検討されている、帯電体の近傍における空間部分である。その部分は、空気によって占められていることもあるし、……あるいは、あらゆる物質がそこから除去されている、いわゆる真空であることもある……」。農業における畑 [field] が地面の一区画であるのと同様に、マクスウェルにおける場 [field] は空間の一区画なのである。すなわち、マクスウェルが「場」という概念に込めていたのは、純粋に幾何学的な意味だったのである。マクスウェルにとって、空間の一区画が物理的現実となり、物理的諸性質を持つことができるなどということは、どんなに奇妙な夢の中でもあり得る話ではなかった。有名なマクスウェル方程式は、けっして場の方程式ではない。それは、電荷の相互作用を計算するための純粋に形式的な表式なのである。それゆえ、マクスウェルにはいかなる場の物理的モデルもなかったし、またあり得なかった。ただし、彼は『電気磁気論』の末尾で暫定的・予言的な二、三の言葉を残している。いわく、それでもやはり、どうやら電荷と電荷の間の空間中にはある種の媒質が存在していて、電荷が相互作用することができるのは、それを通じることによってであるらしい——そうだとすると、本論において得られた方程式はその媒質の記述に役立つかもしれない、……と。ああ、それらの方程式はたしかに役に立った、しかも十分に！ 偉大なローレンツは、エーテルに関する驚くべき物理的モデルを構築したのである。エーテル中における力学的な張力と渦はマクスウェル方程式に従っていた。ローレンツは電子さえをも、それと同じ方程式に従った「エーテルの状態における局所の変異」とみなしていた。この理論は、光学、電磁気学および熱学の分野で当時知られていたすべての現象を説明している唯一の理論だった。しかし間もなくしてアインシュタインからの強烈なサーブを受けて、エーテルは物理学から追放されてしまった。エーテルはアインシュタインにとって、ものすごく邪魔だったのだ。これは場の理論にとって、終わりではないか？ しかし、それはどう見るかによる！ 物理学的には、それはたしかに終わりだった。ところが数学的には、それは始まりでしかなかったのだ！ 実際、マクスウ

エル方程式を物理学から追放しようとする者はいなかった。なぜなら、マクスウェル方程式には、アインシュタインの「相対性原理」と呼ばれているものの全部が含まれていたからだ。というわけで、マクスウェルは他でもない、場の方程式を書いた知的指導者として聖人の列に加えられた。おそらく、マクスウェルはそんな聖人の列に加えられたことにびっくりして、棺の中でひっくり返ったに違いない。なにしろ今や、場は空間の一区画としてではなく、物理的現実として語られるようになったのだから！

いやはや、基礎物理学における諸概念の進化のジグザグを追っていると、目が回っちゃうよ！ マクスウェルが与えたのは、電荷の相互作用を計算するための純粋に数学的な道具立てだった。ローレンツはこのアプローチを物理学化した——エーテルモデルにもとづいて。次に、この問題における物理性の担体であるエーテルは除去された。そして再び、裸のマクスウェル方程式が残された。ところが今や、まるで眠りから覚めたかのように、突然、それらの方程式のうちに偉大なる物理的意味が見つかったのである。いわく、それらは物理的現実としての場を記述しているのだ！ わかった、わかった、さぞかしうまく記述してるんだろうね。でもどっこい、そうは問屋がおろさないぜ！ マクスウェル方程式からは、平面電磁波中では電場と磁場の強度の最大値は同位相的に達成されることが厳密に導き出される。多くの教科書では、その波の図式的な「瞬間画像」が E と H の2つの同位相正弦曲線によって与えられている。ところが、その図解は冗談を解さぬ者向けに与えられているのだ。なにしろ、正弦曲線という用語を使って E と H について語った場合、実験ではそれらは互いに対して 90° ずれている——電気エネルギーは磁気エネルギーに、磁気エネルギーは電気エネルギーに転換している——のである。こりゃ驚いた！ これはまさに、致命的な矛盾が得られているということだ！ 科学は、今にいたってもなおこの矛盾を解決していない。科学はそのあらゆる科学力を振り絞って、その矛盾を隠蔽してきただけだ。でも、マクスウェル方程式は「物理的現実としての場」をちゃんと記述していないことに気づき、考え始めようとしている子供たちがいる。いわく、ここでは何かがおかしい——それは方程式がおかしいか、物理的現実がおかしいかのいずれかだ。そういう彼らに対しては、こう語られる。いわく、マクスウェル方程式は天才的な方程式だ。だから、まあつまり、指から吸い出された [= でまかせででっち上げられた] のは、現実のほうってことさ！

では実際には、電磁場と呼ばれているその物理的現実とやらは、どこにあるのか？ 誰か、その「現実」を見た者はいるか？ 触った者はいるか？ 味見した者はいるか？ いない。例外なしにすべての「電磁場」検出器で我々が相手にしているのは試験荷電粒子のみであって、それ以上のものではない。いったい何のために、場に関する憶測をでっち上げる必要があるのか？ おわかりだろうか、それは、理論家たちの頭脳の構造がそうになっているからだ。彼らは物理的現実のプログラム制御^{〔訳注〕}を認めておらず、離れた電荷の直接的相互作用は彼らにストレスを感じさせる。だから彼らは心の平安を得るために、その相互作用における媒介者、すなわち場を考え出し、以来、それを信仰しているのである。森の奥へ進めば進むほど、ますます薪も多くなる [= 事態が進展すればするほど、ますます多くの困難が生じてくる]。彼らは、場についての見方に含まれる許しがたい矛盾の山をより高く積み上げれば

〔訳注〕 「物理的現実のプログラム制御」は著者独自の物理的世界観を表わしている用語である。その具体的な内容はこの先次第に明らかになる。

積み上げるほど、場に対する信仰をより堅固にする。信仰——それは、恐るべき力だ。「思慮分別のある人間」とは、「頑固な信者」に対して弱腰な態度を取る人間であることを、世界中の人々の経験は示している。場を信仰している物理学者たちに対して、彼らの信仰がいかにか堅固であるかについてお世辞を言わないよう、読者の皆様にくれぐれも忠告しておきたい。そんなこと言ったら、彼らは激怒するだろうからね。なぜなら、彼らにおける最も堅固な信仰は、彼らの頑固な信仰が、実は彼らの理性の発現であることそれ自体に対して向けられているからである。というわけで、電荷とはそれによって電磁場が生まれるところのものであるという定義においては、彼らの理性が光り輝いている。そのような定義には優雅で悪魔的なニュアンスが含まれている。もし誰かが場の現実性を否定しようと考えたなら、彼は自動的に電荷の現実性も否定することになる。そして、そんな愚行を心から嘆くことになるであろう……。物理学とは縁遠いその他のディレクターたちは、彼らの功労者たちがいかにか結構な成果を得ているかを見て、場とはそれほどまでにありふれたものなのだから、望む者は誰でも、宇宙に関する自らの考察において「場」の概念を利用する権利を持っているのだと考える。そしてそれらのディレクターたちは、「物質*^{〔訳注〕}の場的形態」について論じ始める。いわく、心とは物質*の場的形態である！ またいわく、パラレルワールドは物質*の「特殊な」場的形態によって構築されている！ ああ、他人の知的財産を利用して、他人の勘定で利口ぶっているそういうディレクターたちを、物理学者たちはなんと忌み嫌っていることか！ 「ペテン師たちのうわ言だ！」と物理学者たちは叫ぶ。それは理解できる。痛いところのある奴は、それを口に出すものだからね……

[= 物理学者たちも自らのやましいところを自覚しているから、彼らをペテン師とものしっているということ]。

でも、電気の話に戻ることにしよう。電気が何か流動体のようなものとは無関係で、物質粒子と関係があることが明らかになるまでの間、実験家たちは電気によってさんざん苦しめられていた。そのことが特に見事に解明されたのは、ファラデーの電気分解に関する実験（我々は先のほうでこれについて再論するつもりである）、また、もう1つの重要な研究分野——陰極線を使った気晴らし——においてであった。「ぼくらはみんな、陰極線から出てきたんだよ！」と、陰極線たちはクルックスの真空管の中を飛びながら元気に歌っていた。クルックスが陰極線を使ってやらなかったことはない！ まず最初に目に飛び込んできたのは、真空管のガラスに対してさえ及ぼす陰極線の蛍光作用だった。照射された箇所が、言わば、発光をし始めたのである。陰極線の流れの中に障害物を置いたところ、発光の中にくっきりした陰が現われた。それは、陰極線が直進していることを物語っていた。「クルックスの風車小屋」、すなわち回転軸の片側に照射を受けた羽根車は激しく回転していた。陰極線が運動量を運んでいることが誰にでも理解できるようになった。集束された陰極線は物質の塊を加熱し、溶解さえしていた！ おまけに、クルックスは陰極線は電荷を運んでいて、磁石によって曲がることまで明らかにした。クルックスはこれらすべてにもとづき、陰極線とは「きわめて微小な素粒子」の流れであると考えた。でも、その素粒子は原子より小さいのだろうか？ 小さいとしたら、どれぐらい？——それはまだ明瞭ではなかった。

〔訳注〕 「*」が付されている「物質*」という用語はほぼ英語の"matter"に相当し、本論文ではこの段落中の3箇所でのみ使われている。「*」が付されていない「物質」はほぼ"substance"に相当する。ロシア語における両者の使い分けについては、サイト「物理の旅の道すがら」<http://naturalscience.world.coocan.jp/>に掲載されている A. A. デニソフ『相対性理論の神話』の巻末訳注を参照されたい。

ここにいくらかの明瞭さを加えたのは J.J.トムソンであった。彼は磁場と電場を陰極粒子に作用させる古典的実験を行ない、陰極粒子の電荷の符号は間違いなく負であること、そして、そのような1個の粒子の比電荷、すなわち質量に対する電荷の比は、最も軽いイオン（水素イオン）の比電荷より3桁大きい（この値は電気分解に関する実験によって知られるようになった）ことを確定した。よし、目隠し鬼ごっこの鬼に、今までよりも近づいてきたぞ。だがしかーし！もし陰極粒子の電荷と質量とを個別に知っていたとすれば、それが電子であることがただちに明らかになったはずだ。ところが、質量に対する電荷の比しか知らない場合には、様々なバリエーションがあり得るのだ！まず、その比が水素イオンより3桁大きいという点から論じよう。それはなぜ、より大きいのか？陰極粒子の質量が小さいからか？あるいはもしかしたら、陰極粒子の電荷がより大きいからか？それとも第3の理由があるのか？

要するに、電荷の離散値という問題が装いをこらして、しかも下心を持って登場したのである。今日でこそ、誰もが素電荷について知っている。しかし19世紀から20世紀への変り目の頃には、粒子は自然数ですらない任意の分数で表わされる任意の電気量を持つことができる、そして実験に現われるのは粒子群全体の電荷の統計的平均値のみであると考える物理学者たちが存在していたのである。もちろん現在では、そんな考え方は幼稚に見える——とりわけ、「電荷」とはただ単に制御プログラムの目盛りにすぎないということ念頭に置いた場合には。粒子にはその目盛りが存在するか、存在しないかのいずれかであって、それ以外はない。しかし、今日でさえこれを理解している者は僅かしかいないのだとしたら、19世紀末～20世紀初頭に誰がこれを理解し得ただろうか？しかも、現在の理論家たちが、クォークは分数値(!)の電荷を持つなどと論じているのだとしたら！

そういう理論家たちは羞恥心も良心もなく、「ずっと離れた所」からミリカンの魂に真っ正面から唾を吐きかけている。ミリカンはほとんど努力もせず「素電荷」の値を楽々とあばいてみせた。彼は2枚の水平な導体板の間の空間に微細な油滴を噴霧器で吹き込み、導体板に電圧を加えた。ある電荷を持っている油滴のために電気力が重力とほぼ等しくなるように電圧を選ぶことができ、そのとき、油滴はゆっくりと上下動しながら顕微鏡の視野の中に長い間とどまっていた。これは真空中ではなく、ラジウムの小塊からの放射を用いてその中に予めイオンが生成されていた空気の中で行われた。油滴がイオンに結合したとき、その質量はほとんど変化しなかったが、電荷の変化が油滴の垂直速度の変化を引き起こした。注目すべきことに、その速度の変化は常に跳び跳びに生じていた。そしてそれらのジャンプは電荷の諸変化に対応していて、それらの変化は同一の値の倍数だった。その値を「素電荷」と呼ぶことが取り決められた。

さらにその後、正の素電荷はその大きさが負の素電荷と正確に等しいこと、原子の構成には負の素電荷を持つ電子と正の素電荷を持つ陽子が含まれること、電子と陽子は質量が約2000倍も異なることが厳密に科学的に証明された。それゆえ、J.J.トムソンの努力は無駄ではなかったということだ。そして重要なのは、中性原子の中では陽子と電子の数が同じであるということである。もしそれらの数が異なっていれば、それはもう原子ではなくてイオンである。たくさんの物事が収まるべきところに収まったのだ！

とは言え、不明瞭な点がまだいくらか残っていた。例えば、電荷はエネルギーを持っているのだろうか？これは難問だ。マクスウェルにとっては、その『電気磁気論』で「電気

は、エネルギーの一形態である熱と同じようには、.....ではない」といった調子で推論を行なうことは簡単だった。しかし現在は、電荷によって場が生み出されているとみなされ、場は必ずエネルギーを持っていると宣誓されている。物理的現実なんて糞くらえってわけ。ではリスさん、ウサギさん、頭を働かせてみようね。もし電荷がエネルギーを持っていないとしたら、電荷は、エネルギーを持っている場を生み出すことができるのだろうか？ まさか、できないよね。できるとしたら、エネルギー保存則は崩壊してしまう。まったくまずいことになる。つまり、電荷におけるエネルギーというのは、存在しているふりをしていただけなのだ。もちろん、鼻汁を薄い層になるように塗り広げて、そのエネルギーがそこに——電荷自体に、場の中に、あるいはあっちにもこっちにもいっぺんに——局所化するようにすることは可能である.....。でもねえ、おじさんたちよ、問題をますます見え難くする3巻もの解説書が、いったい何のために必要なんだい？ もうちょっと単純にいこうじゃないか。つまり、電荷が存在する、場が存在する、エネルギーも存在する——これで正しいよね？ それが「電気エネルギー」って呼ばれているってことは、多分、あんたらも聞いたことがあるよね？ さてそこで、あんたらの素晴らしい定式によれば、電子と陽電子におけるその電気エネルギーは、電子と陽電子が近接しているときには、それらの固有エネルギー（すなわち、質量に光速の2乗を掛けたもの）に匹敵するものとなる。注目、ここで質問。電子と陽電子が対消滅するとき、その堂々たるエネルギーはいったいどこに消えてしまうのか？ なにしろ、対消滅が終わったときのエネルギーはそれらの固有エネルギーのみに相当しており、それを超えるエネルギーは露ほども存在しないのだ！ 実験家たちは、対消滅時の放射が棺の中で相対論的質量増加を見ているのを発見したとき、喜びのあまりあやうく腰をぬかしそうになった。すなわち、相対論的な電子と陽電子の場合でも、それらの対消滅放射は、ガンマ線分光計の最適な校正用スペクトル線とまったく同一のスペクトル線を与えていたのだ！ 様々な状況がうまい具合に重なり合ったおかげで、それらの実験家たちは、対消滅時に電気エネルギーが跡形もなく消失するという難問に苦しめられずにすんだ。そうでなかったなら、もしかしたら彼らの喜びは許容限度を超えてしまったかもしれない。

まあ、実験家たちが静かに喜んでいたのはそれはそれでいいとして、では、理論家たちは何をしていただろうか？ 電気エネルギーの跡形もない消失を黙って眺めていたのか？ 犯罪的な職務怠慢を發揮していたのか、それとも人々の注意をそらすための意識的な陽動作戦を練っていたのか？ いや、どっちでもない。彼らにはれっきとしたアリバイがある。おわかりだろうか、当時、物理学は嵐のように発展していた。後ろを振り返って、後方に取り残された愚か者を見つけてやるヒマはなかったのだ。

それゆえ、事態を解明するための重要な仮定をすることにしよう。すなわち、電荷はいかなるエネルギーも持っていないという仮定である。質量はたしかにエネルギーのしかるべき一形態であるが、電荷はいかなる場合もそうではない。しかも、電荷にエネルギーがないのなら、運動する電荷にもエネルギーはない。ところが、電流のエネルギーは、運動する電荷のエネルギーとして考え出されてしまった。このテーマに関しては、実際にあったある話がある。電気理論に関する科目の口頭試問が行われている場面を思い浮かべていただきたい。優等生の女子学生が完全に正確な答えを述べている——まあ、恒例の5点 [=優]に向かって着実に前進しつつあるってわけだ。教授はとっても機嫌が良くなったので、

最後に、「ところで君は、私の講義で何かわからないところはなかったかね？」と尋ねた。すると、彼女はこう打ち明けた。「そもそも、電池がランプに電気を送り、ランプが光るといふ単純な直流回路のことなんですけど……。連続の方程式によれば、その回路の任意の横断面を単位時間に通過する電荷の流れのエネルギーは同一であるとされていますよね。あたし、わからないんです、そうだとすると、ランプ内には、いったい何が残るんでしょうか？」教授は呆然となって立ちすくんだ——自分にもそれがわからないことを悟ったのだ……。

しかし、そういった理解し難い問題が現われたのは後の時代のことで、20世紀初頭には、物理学者たちの間では電気に関して完全なる多幸症が拡がっていた。何たる喜び、何たる喜び！自由電子には電荷があり、自由陽子にも電荷がある。両者の大きさはまったく一定かつ不変である。経時的に不変なんだ、このことを覚えといてくれ！すなわち、自由電子と自由陽子には電荷が**常に**存在するのだ！ほら、ウィルソンの霧箱の中の自由電子と自由陽子の軌跡もそのことを大声で叫んでいる。よろしいかね、磁場は荷電粒子の速度ベクトルを方向転換させる。仮に荷電粒子に、あるときは電荷があり、あるときはないとすると、荷電粒子の軌道には曲線区間と直線区間が交互に現われるはずだ。しかしそういう交替は認められない。するとまさしく、いったん粒子に電荷があったのならば、その粒子には電荷が**常に**存在するのである。これはまったく自明のことと思われた。それゆえ、原子の構成に含まれる束縛電子と束縛陽子の電荷は、自由電子や自由陽子とはどこか異なった挙動をする可能性があるなどと考える者は、ほとんどいなかった。いわく、それらはなぜ、異なった挙動をしなきゃならないのか？まさか、原子を構成する電子と陽子が、ウィルソンの霧箱の中の電子や陽子とは同じものではないとでも言うのか？それとも、陽子と電子には、それぞれ異なった種類があるとでも言うのか？自由電子と自由陽子におけるのと同様、束縛電子と束縛陽子には電荷が**常に**存在するという事に疑いを抱いたすべての者は、この致命的な殺傷力をそなえた論理と衝突したはずである。ちなみに、なにしろ最初の頃には、原子構造自体は陽子と電子の電荷のおかげで、つまり電氣的相互作用によって維持されているのであって、それ以上の物理的めいたことは何もないと考えられていたのである。原子構造の「電氣的」説明の滑稽さが露見し、理論家たちがこの問題における自らの無力さを確実に隠蔽するために強固な量子力学的混合物をでっち上げなければならなくなったのは、それより後のことである。彼らはひたすら隠蔽を重ねたわけだが、結局、原子内の陽子と電子には**常に**電荷が存在するという先入観が物理学者たちの潜在意識に深く入り込んでしまった。つまり、証明を必要としない最高の科学的真理の地位を獲得することに成功したのである。この先入観からは、ある重要な帰結が——やはり完全に潜在意識的に——導き出された。それはまさに、同数の陽子と電子を含んでいる原子においては、総電荷は**常に**ゼロであるということ、すなわち、運動する原子は——静止している原子は言うに及ばず！——電気の移動を与えることができないという帰結である。いわく、電気を移動させるためには電荷が非ゼロの粒子の運動が必要なのだ。そして、この潜在意識的論理の極致は——物質の移動なしに電気の移動はない！アーメン！永遠に！

さてその先、電気に対する科学的見方に何が生じたか……。いや、親愛なる読者よ、それをお話しする前に、あらかじめ心の準備をしていただかねばならない。我々は常々、「先人たちの成果に対しては敬意をもって接しなければならない」と教えられてきた。しかし、

我々はその言葉を理解していない！ たしかに、その成果とやりに、我々は敬意をもって接している！ しかし我々はただ単に、その成果であれ、あるいはそれ以外のどんなものであれ、それらの物事を自分の呼び方で呼ぼうとしているだけなのだ。だから、その先、電気に対する科学的見方に何が生じたかを語るためには、本来なら、規範的でない語彙を用いるのが最も適切なのだが、我々はあえて標準語法の枠内に留まることにする——というわけなので、何とぞあしからず！ 〔訳注*〕

で、電気に対する科学的見方に生じたのは、こんなことだった。原子の電荷は常に同じくゼロであり、電気の移動は荷電粒子が移動したときのみ可能であるという理路整然たる描像は、多数の現象についての合理的説明をまだ萌芽段階のうちに抹殺した。その死亡者名簿の最初に記されたのは磁化現象であった。磁気作用は運動する電荷によって生まれることを、実験は明確に示していた。では、定常的な磁気作用が定常的に運動する電荷によって生まれるかという、とんでもない！ 荷電粒子は永久磁石の中では定常的に運動することができないのである。これについては既にマクスウェルが次のように書いている。

「通常の種類の電流が目に見える大きさの磁石の諸部分の周りを流れるとすると、その電流を維持するために定常的なエネルギー消費が生ずるはずであり、磁石は定常的な熱源となるはずである」。ここで最も重要なのは、「通常の種類の電流」という言葉の組み合わせである。えっ、なんだって？ まさか、通常でない種類の電流がさらに存在すると言うのか？ さらにどのように存在しているのか？ ——なにしろ、マクスウェルはけっして冗談など言っていないのだ！ 「通常の種類の電流」と彼が呼んでいたのは、荷電粒子の移動である。しかし、彼はさらに「変位電流」、すなわち物質の移動もジュール熱への損失もなしに生じる電気の移動について語っている。実は、彼はどうすればそんなものがあり得るかについて説明を与えていなかったのだが、にもかかわらず、彼の方程式には、通常の電流と対等のものとして変位電流が含まれていた。彼の追従者たちは、「通常でない」変位電流を究明することではなく、磁化についてのいかなる説明も持たないことを選び、「天才も時には過ちを犯す」ことを認めた。いわく、物理学は精密科学なのだ！ だから物理学においては、すべてが通常でなければならない——例えば、電子のスピンのように、と。今にいたるまで、電子のスピンは物理的モデルを持っていないにもかかわらず！ 自由電子が実際にスピンを持っていることを示す実験的証拠は 1 つたりとも存在しないにもかかわらず！ 物理学ではこれが当たり前のことなのだ（電子のスピンについては筆者の論文「量子論のトリック」〔訳注**〕を参照されたい）！ ちなみに、かつてこう言って我々を口説こうとした者があった。いわく、電子のスピンを信じ、正気に戻らないままでも磁化について説明することができるだけの能力を獲得したまえ——そのためには、スピン脳さえあればまったく十分だ！

磁化の問題をこうやって片づけた後、物理学者たちは互いに目配せを交わした。「変位電流の助けを借りることなしに、そんなものがいったいさらに何を説明することができるの

〔訳注*〕 「規範的でない語彙」とは、著者独自の理論における用語のこと。例えば、著者は「場の理論」を根底から否定しているが、「磁場」や「電場」といった一般的な用語を使わずに一般読者向けの説明を行なうことは不可能なので、不本意ではあるがそのような「標準語法」に従って話を進めざるを得ないということをやめ断っている。この先で“磁「場」”といったように括弧付きの表記がなされているのは、この理由による。

〔訳注**〕 この論文の邦訳はサイト「物理の旅の道すがら」<http://naturalscience.world.coocan.jp/>に掲載されている。

だろうか？」と。そうだ、ほら、例えば圧電結晶に生じる奇妙な現象の秘密を説明できるはずだ。こんな話が耳に入ってきた。そういう結晶をしかるべくトントン叩いてやったら、その反対側の面上に異符号の電荷が発生したというのである。ただしくれぐれも、結晶中で電子たちが片方の側から流れ出て、他方の側に流れて来たなどと軽はずみな考え方をしないように。誘電体結晶中では、そんな思いつきは通用しない。さらにまずいことに、もしここでの事の本質が電子の過不足にあるのだとすると、電子が過剰な面は電子の一部を外部回路に送り出し、電子が不足している面はそれとは逆に電子を外部回路から受け取ることができるはずだ。もしかしたら、圧電着火装置の回路中では、電流パルスがまさにそうやって生み出されていると考えている人がいるのではないかとんでもない！ 圧電結晶は電子を送り出したり取り込んだりなどしていない。なにしろ、それは誘電体なのだ。誘電体中では電子は移動することができないだけでなく、そもそも、そこには自由電子が存在しない。でも、圧電着火装置の回路中——金属導体で出来ている回路の外側部分——には自由電子が存在している。圧電結晶上で異符号電荷が発生すると、導体中の電荷は負に荷電した結晶面から立ち去り、正に荷電した結晶面へやって来る。はい、電流パルスの一丁上がり。わかった、けど、圧電結晶の結晶面上の電荷はどこから出て来るの？ うん、それはいい質問だ。よろしいかね、科学はそれに答える準備がまだできていないのだ。実は、機械的作用によって圧電結晶中で荷電粒子の再集合が生じる、つまり、陽子は主としてある1つの面に移動し、電子はそれと反対側の面に移動するというように事態全体を描き出そうとする試みがなされたことがあった。だめだめ、冗談言って笑わせないでくれよ。圧電結晶の各面において達成される電荷密度が実現されるためには、陽子と電子のきわめて大きな移動が必要とされる。そのときには結晶構造は言うまでもなく、原子構造の崩壊さえ生じるはずである。

ちなみに、強誘電体に関してもそれと似通った奇跡がでっち上げられたことがある（ただし、前の話とは1つだけ違いがある。それは、強誘電体は、いかなる外的作用もなしに維持される反対面の残留帯電量を持つことができるという点である）。しかしこの場合もやはり、電子を外部回路に送り出すことも、外部回路から受け取ることもできなかった。これらすべての話は、科学にとって謎めいた方法によって生成され、集合化された束縛電荷を用いてでっち上げられていた。

でも本当はね、これはとても簡単な問題なんだ！ この論文の一番最初に、ダンスを踊る青球と赤球を描き出すプログラムの話をしたの、覚えてるよね？ それは、自由電荷の挙動のイラストレーションだった。さて、このプログラムの第2バージョンは自由電荷だけでなく、束縛電荷の挙動も描き出していた。その青球-赤球の対は、もちろん、純粋にソフトウェアによって結合されていた。結合とはどういう意味かと言うと、それは要するに、それらの2つの球が互いに小さい距離の所で「ペンディング状態」にあり、そのとき、その距離が厳密に固定されているということだ。しかし最も興味深いのは、この青-赤結合では、球たちの2つの色が常に、同時には輝かない、つまり、青色が輝いている間は赤色は「休憩」している、赤色が輝いている間は青色は「休憩」しているという点であった。その青-赤の点滅周波数はかなり高く、そのため点滅自体は肉眼では見分けがつかなかった。視覚の惰性により、この結合対における青色と赤色の輝度は同一であるように思われた。しかし、そうであったのは、2つの色のそれぞれが明滅周期の半分の間だけ輝き、他の色が輝

いている残り半分の間は「休憩」している場合であった。これは科学用語では「色の遮断のデューティー比は50%であった」と表現される。しかし、そのデューティー比はこの中央値とは異なったものであることもできた。そのような場合には、ある注目すべきことが青-赤結合に起きていた。すなわち、例えば、青色はそれぞれの明滅周期の3分の2の間だけ輝き、赤色は3分の1の間だけ輝いていた。つまり、この結合においては青色が時間的に卓越しており、目には赤色よりも輝度が大きいように見えたのだ！そして最後の特徴。結合対におけるそのような2つの色の不均衡 [imbalance] は、青球と赤球との強制的分離、またそれらの強制的流れに対する応答であった。それらのいずれに対しても、自由球は我々が記憶しているようにその移動の形で応答していたのに対し、束縛対は色の不均衡の形で応答していた。自由球を適度な程度に強制的に急激に動かしたところ、束縛対はバトンリレー方式であれこれの色のスプラッシュを互いに受け渡した。色の移転は色球の移動なしで生じていた！ぼんくらユーザーは声も上げられぬまま、すっかり気が狂ってしまいましたとき.....。

ここでもまた、球の赤-青結合と原子内「陽子-電子」結合とのアナロジーがかなりうまくいく。ただし、文字どおりそうだというわけではない。我々にこうささやく声が聞こえる。いわく、「デジタル的な」物理的世界の論理によれば、粒子の電荷とは、「チク」と「タク」というわずか2つの状態の循環的交替が粒子に存在する、ということである。そして、それらの状態は電子振動数（約 $1.24 \cdot 10^{20}$ Hz）と呼ばれる振動数で生じる。電子とは、それら2つの状態の交替の連鎖の純粋形態であり、電子中にはそれ以上のことは何もない。陽子の場合にはそれよりちょっと複雑である。すなわち、陽子には電子振動数によって変調された搬送波振動数がある。その振動数は電子振動数より3桁高い。そして電子より3桁大きい陽子の質量はその振動数に対応している。正と負の電荷とは、電子振動数における2つの状態の交替である。2つの電荷の符号の違いは、正電荷と負電荷においてそれらの状態の交替が逆位相で起こることから生じる。原子内「陽子-電子」結合を形成しているアルゴリズムは、陽子と電子におけるそれらの状態の交替の連鎖を交互に断絶させる、すなわち、それらの電荷を交互に無に帰せしめる。束縛陽子と束縛電子とが互いに引き付け合わないのは、それゆえである。また、その結合が安定的であるためには、電子が軌道運動その他の運動状態にある必要はない。「陽子-電子」結合の安定性は自動的に確保される。すなわち、陽子と電子の電荷の具体的な交互「オフ」周波数のもとで、陽子と電子は完全に確定された相互間の距離において「ペンディング状態」にある。——等々といったことが、上記のアナロジーにもとづいて言える。「陽子-電子」結合における電荷の交互「オフ」のデューティー比が50%のとき、その結合は平均すると電氣的に中性な結合として振る舞う。そのデューティー比があれこれの側にシフトすると、「陽子-電子」結合内であれこれの電荷が時間的に卓越するようになる。これは「電荷不均衡」と呼ばれる。ちなみに、この電荷不均衡というコンセプトは、価電子と非価電子の間の違いについて現在唯一の説明を与えている——なにしろ、その違いの説明なしには、化学結合の説明もあり得ないのだ。その違いはきわめて単純である。すなわち、非価電子の「陽子-電子」結合においては電荷不均衡は許容されず、価電子の「陽子-電子」結合においては許容される。そしてここで重要なのは、あれこれの符号の電荷不均衡のスプラッシュは、ある「陽子-電子」結合から別の「陽子-電子」結合に伝達され、これによって物質中を移動することができ、このことが物

質の移動なしでの電気の移動を与えるということだ。というわけ。私の大学時代のある同級生が言っていた表現をかりると、「すべてトリビアなことは単純なんだよ」。

結局、電流の2つの種類という点でマクスウェルは正しかった。荷電粒子の運動が存在し、他方、電荷不均衡の移動が存在する。電気の移動はこれら2つの場合に生じるのだ！しかも、電気の移動を制御しているプログラムは、そのために必要とされるエネルギー転換をも実現せしめている。荷電粒子の運動エネルギーに転換されているのは「場」のエネルギーではなく、粒子の固有エネルギーの一部、すなわち粒子の質量の一部である。そして電荷不均衡のエネルギーは、原子内「陽子-電子」結合中における結合エネルギーの減少によって発現する。電荷不均衡は質量を持たず、運動エネルギーも持たない。電荷不均衡に慣性はない！

このコンセプトは、ただちにそのありとあらゆる発見力を獲得した。それはまず第1に、何に関する発見力だと思う？ そう、金属に関してだった！ 金属に関しては、子供たちはまだ学校の頃からこう教え込まれている——電気は金属中を自由電子のみによって運ばれているのだと。かわいそうな子供たちだ……彼らはすごく信じやすいからなあ！ それにしても、子供たちに教え込まれているのが半真理——ご存じのとおり、半真理は虚偽よりも悪質である——だと、にわかには理解し難いことだ。金属中に自由電子が存在することを疑う者はいないはずだ。例えば熱電子放出、また冷電子放出（すなわち、強い電「場」によって電子が金属中から外部に引き出されること）がそのことを示している。しかし、金属中には自由電子がたくさんあるのだろうか？ 問題はまさにここにある。この問題に関して、理論はずっと昔から蒸気機関車より前を疾走していたせいで、もう息切れしてしまった。理論家ドルーデは健全な知性としらふの人間の記憶力を備えた人物ではあったが、金属におけるような良好な電気伝導性の場合、金属中のそれぞれの原子1個当たり、1個の自由電子がなければならぬことを保証し、これを神に誓った。それより多くも少なくもない。つまり、金属片中の原子はすべて電離していなければならない。ああなんと、しらふの人間の記憶力が理論家ドルーデを裏切ったのだ。彼は、すべての原子がいかなる魔法の杖の合図に従って一斉に——しかも、数百万度の温度においてではなく、任意の室温において——電離するのか、説明し忘れたのだ。自然の謎だ！ こんな場合、我々の田舎ではこんなふうにする。「カシの葉っぱがトネリコの木から落ちて来たぞ……」。ところがなにしろ、その原子が1個の価電子しか持たない金属が存在するのである。もしそのすべての原子が良好な電気伝導性の必要を満たすために1個ずつ電子を放出したとしたら、それらの原子には、互いの中で化学結合を形成する可能性は残らなくなる。その場合、金属の結晶格子はいったい何によって維持されるのか？ 理論家たちはこの疑問に対しても答えを作り出した。彼らも健全な知性としらふの人間の記憶力を備えた人物たちではあったが、量子力学に助けを求めた。そしてそれ以来、金属の構造はそれらの自由電子自体のガスによって生み出される、まったく特殊な結合によって維持されていることを保証し、これを神に誓っている。つまり、それらの電子はもはや完全に自由な電子というわけではないのである。あのね、量子力学が受け取った贈り物は、ミダス王が受け取った贈り物よりもっと強烈だったんだ。ミダス王が触れたすべてのものは黄金に変わった——それでミダス王はがっくりきちまった。ところが、量子力学が触れるすべてのものは、糞の入った破けた袋に変わってしまうんだ。量子力学のそんな奇跡のひと触れを受けた後、金属中の自由電

子は少々束縛されているとみなされるようになった。しかも、そのそれぞれの電子はいずれか1個の原子によってではなく、いっぺんにすべての原子によって少々束縛されているとみなされるようになった。科学用語で言うと、この話はこんなふうに響く。「自由電子ガスに含まれる各電子は、“結晶格子のすべての原子に同時に帰属しているかのようである”」。これ、理解できる？ これは、仮想上妊娠している女性になることはできないが、仮想上自由な電子——金属片中のすべての原子核との軽い関係 [= 結合] にはまり込んで身動きの取れなくなった電子——になることはできる、ということだ！ これこそが、これらをでっち上げたお方のご意志だったに違いない！

ところで、でっち上げの作者は何人かいて、その各人は、残りの者たちは自分に同調しなければならないと考えていた。この滑稽ならざる暗闘の結果として世に現われたのが、滑稽な固体のバンド理論であった。高度科学界内においてそうみなそうと取り決められたところによれば、この理論は金属の良好な電気伝導性を説明している。なぜこれが滑稽かと言うと、いわゆる「一電子近似」に基礎をおいているからだ。それによれば、自由電子ガスに含まれる各電子は格子イオンとのみ相互作用するとされており、残余の自由電子はあたかも存在しないかのようであるとされる。理論家たちにとっては、残余電子が大きな邪魔になっている。もし残余電子が集まって「電子ガス」全体を形成しているとみなしたとすると、金属には良好な電気伝導性は存在しない。でも、金属の結晶格子構造は別問題だ。いわく、そこでは、電子ガスなしではどうにもならない。ねえ、おじさんたちよ、自分の立ち位置をはっきり決めろよ！ それとあともう1つ。あんたら、電子ガスについて無駄口叩いているのが恥ずかしくないのかい？ もちろん、電子ガスは、プラズマ雲の中におけるように、イオンと一緒にあって準中性状態をもたらすことができる。しかし、電子ガスは、いったいどうすれば剛体結晶構造をもたらすことができるんだい？ ほら、まさにそのプラズマの中に剛体結晶構造が存在しないのは、なぜなんだい？ 高い温度が邪魔をしている、とでも言うんだろ？ はい、残念でした。プラズマを冷やすと電子がイオンと再結合し、電子ガスからはアツカンペーしか残らないんだよ……。ふう、自然というものは、いったいどこまで馬鹿げた仕組みになってるんだろうね。でもそれは、理論家たちが必要としているような仕組みではけっしてない！

理論家たちは「そんなの、自然にとってますますまずいぞ！」と言って、自らを元気づけようとした。そして「金属中における電子ガス、電子ガス……」と何度も何度も唱えた。では、そこにあるのはいかなる「電子ガス」なのか、我々が教えてあげよう。「10 まで数えられる子ヤギ」が主人公のアニメ^{〔訳注〕}、覚えてるかい？ さて、それでだ。物理学便覧には、金属の密度とその原子質量が与えられている。金属結晶中の平均原子間距離を計算するためには、これらのデータだけで十分だ。物理学便覧には、さらに金属原子の半径の

〔訳注〕 30年ほど前にNHK総合テレビで放映されたアニメシリーズ『スプーンおばさん』で日本でも知られているノルウェーの児童文学作家アルフ・プリョイセンの幼児向け絵本『10までかぞえられるこやぎ』（邦訳は絵：林明子、訳：山内清子、福音館書店、1991）をロシアでアニメ化したもの。このアニメは、数をかぞえることの重要性を就学前児童に教えるための教材として使われている。ロシア語の題名は“Козлёнок, который считал до десяти”。<https://www.youtube.com/watch?v=6Z7iGUY-86E> で閲覧できる。内容については邦訳本を読むか、あるいは例えばブログサイト「絵本千夜一夜」の「第 662 夜 “10 までかぞえられるこやぎ”」http://mis-nagase.at.webry.info/200907/article_9.html を参照されたい。鑑賞の際のご参考までに——ロシア語の数詞の発音は、1：アジン（またはラーズ）、2：ドゥヴァ、3：トゥリー、4：チイトウイリ、5：ピャーチ、6：シエスチ、7：スェーミ、8：ヴォースィミ、9：ヂェーヴィチ、10：ヂェーシチ。

実験値も載っている。残る仕事は、金属中の平均原子間距離が原子半径を2倍した値に近いことを、凝視法を用いて確認することだけだ。おや、なんてこった！このことは、金属結晶格子は、最外殻電子の関与を必須の条件として形成されていることを意味している！すなわち、それらの電子は原子の構成に具体的な形で含まれているのであって、電子ガスの構成には含まれていない！

親愛なる読者よ、次の点にご留意いただきたい。我々は、金属中に自由電子はまったく存在しないなどとは言っていない。自由電子は存在する。しかし....., 要するに、きわめて少ないのだ。我々は、それがどれだけ「きわめて」なのかを言うことさえできる。ここでは、金属中には自由電子が実際に存在することをエレガントなやり方で証明した、あのトルマンとスチュワートおん自らが我々の手助けをしてくれる^{〔訳注〕}。彼らは地球磁場の遮断を十分にほどこした上で、糸巻きに長く細い銅線を巻きつけ、その両端を検流計に接続した。銅線を巻きつけた糸巻きを高速回転させ、次にキキッ!と急停止させた。すると検流計は弱い電流パルス記録した。その電流パルスはまぎれもなく、回転が止まった後に慣性に従って銅線中を運動した荷電粒子が与えたものであった。では、その粒子とは何なのか？ よろしいかね、まず第1に、電流パルスの方向は、その粒子が負電荷を持っていることを示していた。第2に、その粒子の比電荷を計算したところ、比電荷は陰極線の粒子におけるのと同じであることがわかった。うん、それじゃあ一義的に、それは電子だ！しかも、それがそこで慣性に従ってうまいこと運動しているというのなら、それは自由電子だ。話はこれでおしまい？ いや、終わりじゃない。さらに、それらの自由電子の数を計算することができたのだ。しかし、トルマンとスチュワートはこれについて語ろうとはしなかった。きっと、何か下心があったのではないか？ なにしろ、彼らのデータからは、銅中の自由電子の数は、原子10個あたりでも、100個あたりでも、1000個あたりでさえもなく、150万~200万個あたり1個に相当するという結果が得られるのだ！「困った、困った、自由電子ガスのコンセプトはおしまいだ！」

いいかい、実際にはこうなのだ。きわめて稀な例外を除き、金属中の各電子はあれこれの1個の原子の構成に含まれている。つまり、結晶格子の構造は自由電子ガスによってではなく、通常の化学結合によって維持されているのだ。とは言え、それは完全に通常というわけではない。その原子が1個の価電子しか持っていない金属があること、覚えてるよね？ そのような原子が形成することができるのは1個の化学結合だ。ところが3次元の結晶格子を維持するためには、1原子あたり少なくとも3個の結合が必要とされる。袋のネズミ、ではないか？ とんでもない、突破口があるんだ！もちろん、価電子の数が1個の原子は3個の結合をいっぺんに形成することはできない。しかし、原子は隣接原子たちと順番に結合しながら、3個の結合を交互に形成することができる。そのためには、原子内における外殻電子のステータスが循環的に切り替わらなければならない（純粋にソフトウェアによって）。君はある時間の間、価電子だったんだから、価電子としてのステータスを別の奴に譲れよ、等々。方向性を持った原子価 [directed valence] がそのように循環的に切り替わる原子の群は、3次元構造を維持する能力を完全に備えている。ただし、そのような

〔訳注〕 以下述べられているのは Richard Chace Tolman と Thomas Dale Stewart が 1910 年代に行った実験の概要。詳しい情報は "Tolman-Stewart experiment", あるいは "Stewart-Tolman effect" でネット検索して入手されたい。

構造における化学結合は定常的ではなく、切り替わり可能なものであって、したがってその構造は動的である。

そんな考え方は信じ難いって？ あのね、我々も最初は目を丸くしていたんだ。ところがその後、この考え方で一挙に説明され得る様々な事実が次々に出てきた。例えば、鉄筋コンクリートの化学結合を持っている結晶の脆性とは対照的な、金属の可塑性・可鍛性。清浄な金属表面の驚くべき化学的侵食性。2つの金属試験片を互いに強く押し合わせたとき、一方の金属片から他方の金属片中へ原子が侵入する事実。加熱した金属試験片中に不純物（例えば炭素）の原子が軽々と侵入する事実。金属分子の不安定性という致命的な事実。すなわち、金属の対たちは、具体的には単原子的なのである。何てたまげた話だ。金属原子が1個の価電子を持っている場合、そのような原子2個が結合して安定的な2原子分子にならないのは、なぜなのか？何がそれを邪魔しているのか？それはまさに、金属原子中の電子が順番に従って価電子になることが邪魔しているのである。もしそのような原子2個がうまく立ち回って連結し、分子になることに成功したとしても、原子価のステータスが最初に切り替わった瞬間、その連結は崩壊する。ところで、その切り替わりの周波数が金属の重要な特性をなしている——金属の機械的・化学的性質はその周波数に依存しているのだ。しかも、その周波数は温度変化とともに変化し、金属の性質もそれに対応して変化する。時には、このことが印象的な現象を生じさせることがある。南極圏において次のことが発見された。 -70°C の温度下では、ジュラルミンの薄板は急激な運動を加えることによって「紙のように引き裂く」ことができる。またこの温度下では、ジュラルミンは空気中できわめて良く燃焼する！

ところで、我々は何のために金属原子中における原子価切り替わりについて話し始めたんだっけ？そう、その切り替わりが金属の電気伝導において最も重要な役割を演じていることを示すためだった。理想的な金属単結晶中では、原子価切り替わりは理想的な協同性を持っている。しかし、現実の導体は微結晶の集合体である。それらの微結晶の境界、またそれらの結晶格子の欠陥部において、原子価切り替わりの協同性は擾乱を受ける。それゆえ、それらの境界や欠陥部は一種の自由電子発生器となる。導体に電圧が印加されると、それらの自由電子は陽極に向かって移動しようとする。でも、だめだ！すぐに原子にぶつかってしまう。自由電子は結晶中を原子を通過して移動するのだ、なにしろ「原子は主として空虚からなっているからだ！」などと論ずるのを好んでいるのは、偉大なる学者先生たちだけだ。リスさん、ウサギさん、お耳に詰まってるゴミを振るい落とすまへ！きわめて良く知られているように、原子中への自由電子の侵入深さはその電子のエネルギーに依存している。原子内のいずれかの内部電子殻まで到達するためには、自由電子はその殻内の電子の結合エネルギーと同じエネルギーを持たなければならない。原子核まで到達するためには、自由電子は最も強く結合している原子内電子の結合エネルギーよりも大きなエネルギーを持たなければならない！原子が密に充填されている固体の結晶構造が低エネルギー電子にとって克服し難い障害となっているのは、まさにこの理由による。もしそうでなかったら、自然にはいかなる誘電体も存在しないはずである。いわく、わかった、だがそれじゃ、自由電子がそれでもやっぱり金属中を通過しているのだとしたら、金属は誘電体といった何が異なっているんだ？怒りんぼう君たちにお答えしよう。ほら、化学結合の非定常性が異なっているのだ！非定常的な化学結合を持った原子に行き当たった自

由電子には、一瞬の好機をとらえ、その原子の構成に入るチャンスがある——それまでその原子の構成に含まれていた電子を解放することによって。すると、その出来立てほやほやの自由電子は陽極に向かって移動し、やはり原子に行き当たる。そこでも置換-解放のシナリオが繰り返される可能性があり、以下同様となる。このようなモード——自由電子と束縛電子の間における人員のローテーション——の下で、陽極への電子の移動が生じることになる。ちなみに、そのような移動の速度について大雑把な推定を行なうことができる。それを推定するため、原子間距離、例えば3オングストロームを、原子価切り替わり——室温下におけるその周波数は 10^{10} Hzのオーダーということにする——の1サイクルの周期で割ってみよう。すると、電子の移動速度として3 m/s という大きさが得られる。電子の移動が必ずしも直線に沿って、各原子を通過して、かつ原子価切り替わりの各サイクルごとに行われるわけではない....., 等々といった事情を考慮し、これらすべての事情の分としてオーダーを2桁減らすことにすると、最終的に毎秒数センチメートルという値が得られる。これは、「金属中における自由電子の移動度」の決定に関する諸実験において検出されている値に近い。

さて、もう1つ面白い話がある。陽極の側へ押しやられた金属中のそれぞれの出来立てほやほやの自由電子は、原子に行き当たるまでの間にいくばくかのエネルギーを蓄えることができる。その静かな交替が置換-解放を伴って生じたと仮定しよう。置換され、解放され、陽極に向かって送り出された側の電子は、エネルギーゼロの状態での経路を進み始める。では、よそからやって来た側の電子が原子にぶち当たったときのエネルギーはどこに消えるのか？ そのエネルギーは消えるのではなく、他でもない、熱に転換するのである。わかる？ これこそが導体中を電子が移動するときのジュール熱の発生メカニズムなのだ！ ただし、次の点に注意しよう。この説明からは、導体中における電子の移動はジュール熱の発生を必ず伴うという結論が導き出される。するとここで、科学アカデミー会員たちは満面の笑みを浮かべ、我々に超伝導現象を思い出させようとする。いわく、超伝導は超最高、そこには電子の秩序運動はあるが、ジュール熱の発生はないぞ！と。それは何かい、我々が今述べていることに対する有罪判決ってわけかい？ 待て待て、この問題は詳しく吟味する必要がある！ なにしろ、ここでは様々なバリエーションがあり得るのだ！ ひよっとしたら、いわゆる超伝導には電子のいかなる秩序運動もまったく存在しないことが判明するかも？

君たち、嘲笑するのはちょっと待ちたまえ。愚かな嘲笑の1分間は、寿命を1分間縮めることになるぜ！ 我々が電気の移動の2つの方法について語ったことを覚えておいでだろうか？ 金属中ではそのうちの1番目——電子の運動を通じた移動——が実現されていることについては、既に少しだけ述べた。今度は、その2番目——電荷不均衡の運動を通じた移動——について少々語ることにしよう。この2番目の方法には、1番目とは原理的な違いがある。電子はいくばくかの質量を持っている。それゆえ、金属中における電子の運動を通じた電気の移動は慣性的なプロセスであり、また、我々が既に見たようにより緩慢なプロセスである。それに対して、電荷不均衡が運動するとき、物質の移動は生じない。それゆえ、そのような電気移動プロセスは無慣性的であり、したがって光速度にも達する気違いじみた速度で生じる可能性がある。そんなものどこで見れるんだと、ご質問ですか？ おあいにくさま！ それは、ほとんどいたる所だ！ ここに長さ10 kmの2線式

導線があって、その遠いほうの接触子にコンデンサーが接続されている。その導線の近いほうの接触子に直流電圧源をつなぐナイフスイッチを閉じた後、電圧がコンデンサーに現われるのは、どのくらいの速さでか？ そう、そのとおり。電圧は、導線の長さ（10 km）を光速度で割った商に等しいタイムラグを伴って、すなわち 33 マイクロ秒後に現われる。電子はカメのような速度で移動するのだから、コンデンサーにおけるそのような電光石火の電圧出現が、電子の負側被膜への流入と正側被膜からの流出によって確保されるということとはまったくあり得ないことは明らかである。さらにまずいことに、電光石火の電圧出現までのタイムラグは、コンデンサーの容量に依存していないのだ。なにしろ、もしここでの問題の本質が電子の流入・流出にあるのだとしたら、より大きな容量のコンデンサーにおいて同一の電圧が出現するためには、より大量の電子の流入・流出、すなわちより大きなタイムラグが必要になるはずなのだ。実際、電子の流入・流出によってコンデンサーを充電するのに要する時間の定数は、コンデンサーの容量に回路のオーム抵抗を掛けた積であるということを、電気技術者たちは良く知っている。素晴らしい！ ではそうだとすると、コンデンサーにおける電光石火の電圧出現——その出現に伴うタイムラグはその容量に依存しない——は、何によって確保されているのか？ 我々はこれ以上いい加減な態度を取り続けるべきなのか、それとも気分転換のために、ここでの問題の本質は、電荷不均衡によって形成される電気の一瞬の高まりが導線に沿って運動することにあると仮定するべきなのか？ なにしろ、2種類のコンデンサー充電（電子の流入・流出を通じた充電と電荷不均衡の誘導を通じた充電）の違いは、その特性時間の違いだけではないのだ。コンデンサー側で受け取った電圧が同一の場合でも、それら2種類の充電の結果は根本的に異なっている。電子の流入・流出を通じた充電は、能動的充電 [active charging] と呼ぶことができる。能動的に充電されたそのようなコンデンサーは、その出力端子を閉じようとする、空気中で強い火花放電を与えることができる。電荷不均衡の誘導を通じた充電は、反応的充電 [reactive charging] と呼ぶことができる。我々が挙げた長さ 10 km の導線の例において、導線に電圧を供給してから 33 マイクロ秒後に導線からコンデンサーを引き離すと、電子の流入・流出の段階を通過していないため、コンデンサーは強い火花放電を与えることができない。しかもそもそも、電荷不均衡が導体に沿って運動するとき、ジュール熱すら発生しない。ジュール熱は何から発生することができるのか？

ジュール熱が発生しないというこの性質は、永久磁石において特に特徴的な仕方で発現している。金属中における非定常的で切り替わり可能な化学結合について話したことを覚えておいでだろうか？ その切り替わりの高い秩序性という条件が実現されている場合には、試験片中における化学結合の移動について語ることに意味を持つ。その場合、その移動は同一の閉じた原子鎖に沿って循環的に繰り返される可能性がある。さて、そのような試験片が外部磁「場」の作用を受けているところをイメージしていただきたい。その試験片中では、何か驚くべきことが起こる。それは他でもない、外部磁「場」が電荷不均衡の移動を誘導するのだ。電荷不均衡の移動は、化学結合の移動とともに、同一の閉じた原子鎖に沿って生じる。これは磁化段階と呼ばれる。さて、その外部磁「場」が除去され、磁化が停止したとき、化学結合の移動は、まるで何事も起きなかったかのように継続する。しかし今度は、化学結合の移動とともに、電荷不均衡が移動する。電荷不均衡はどこにも消えていなかったのだ。ところで、閉じた軌道に沿った電荷不均衡の運動とは、閉じた軌

道に沿った電気の運動に他ならない。すなわち、それは閉じた電流であり、その閉じた電流自体が磁「場」を生み出す。素晴らしい！ 金属片が無傷な限り、化学結合は移動し続ける。そして化学結合とともに、電荷不均衡が移動し続ける、何年間も、何十年間も！ 移動し続けるのは、彼らにとって別にたいしたことじゃない。彼らは食べ物を欲しがらなくても、ジュール熱のために自らを消費するわけでもないのだから。永久磁石の秘密はこのことにはない、とでも？ それとも、この話はあまりにも真理らしく思えるので、信じる事ができない、とでも？

まあ、よかろう。次の超伝導の話はもうちょっと理解しやすいものになる。「今度は文書だけを、そして事実だけを！」^{〔訳注〕} 超伝導に関連するすべてのもの——それは物理学における一風変わった分野である。それは単なる空想工場なのだ！ 超伝導の研究に対しては、バーディーン、クーパーおよびシュリーファー（彼らの理論）に対するものも含め、ノーベル賞が何度か与えられている。ただし、ノーベル賞の規定に従い、賞は実際的な結果に対してのみ授与されている。ところが、その例外が現われた——BCS理論の実際性ときたら、途方もないものだったのだ！ 考えてもみてほしい。かつては、「自由電子がジュール熱による損失なしに物質中を運動することができるのはなぜか？」という疑問に対する答えを真剣に探しているすべての人間に対し、白衣を着た人々は「脳脱臼 [=精神異常]」という診断をくだしていた。でも、この三人組はラッキーだった。どうやら、何か有益な突然変異が彼らに生じたに違いない。彼らの脳は軽いオーバーヒートという診断ですまされ、待望されていた産物を生み出したのである。それらの明晰な頭脳が我々にプレゼントしてくれたもの、それは他でもない、臨界温度以下においては、自由電子は1対ずつ整列し、結合していわゆるクーパー対を形成するという事だった。いわく、それらの対は、いかなる抵抗にもあわずに物質中を通過するという、奇跡的な能力を備えているのだ。クーパー対の生活に関する魅惑的なトリビアを1つ。BCS理論が主張するところによれば、クーパー対を形成する2つの電子は、互いに逆向きのスピンと逆向きの運動量を持っている。独創的！ ふん、そんなスピンとやらは、どうでもいい！ しかし、もし2つの電子が逆向きの運動量を持っているとすると、なにしろ、電気の総移動量はゼロになるのだ！ その先のもっと詳しい話はできないのか？ 実は、できないのだ。クーパー対に含まれる仲間たちが逆向きの運動量を持っていることに言及している教科書の著者たちは、即座にこう付け加える。「これを文字どおりに理解するべきではない」。そして、それをどう理解するべきかについては詳しく語ろうとしない。語らないのは、それ以上何か余計なことをうっかり漏らさないようにするため、あるいは簡潔さこそが知恵の精髓であるからであろう。そのいずれにせよ、自分が相手にしているのは精神病院ではなく、精密科学の殿堂——この言葉のより良い意味における——なのだという印象が、教科書の読者に生じなければならないわけだ。まったく、どうすりゃ、こんな理論にノーベル賞を与えずにすませることができたんだろうね?!

さて今度は、歴史的な公平性とはいかぬまでも、せめて歴史的な出来事の時間的継起を復元してみよう！ すべては超低温における水銀の電気伝導性について研究していたカメ

〔訳注〕「今度は文書だけを、そして事実だけを！」は、ソ連時代に世を騒がせた一連の刑事事件の公平な見直しをテーマとするロシアのテレビ局NTVの定期的ドキュメンタリー番組「結論を引き出せ」の冒頭で司会者が言うキャッチフレーズ。この番組は2006年に始まり、現在も続いている。

ルリング・オネスの実験から始まった。彼は荒っぽい方法でこの実験を行っていた。水銀上の電圧および水銀中を通過する電流の力を検流計で測定していたのである。水銀の温度を約 4°K まで下げたとき、その中で何かが急激に変化した。その抵抗が飛躍的に低下したように思われた。しかし、それがどれだけ低下したかを正確に突き止めることはできなかった。検流計を使ったこの荒業でさんざん苦労した後、カメルリング・オネスはより進歩した方法に移行した。彼は鉛のリングを作り、強く冷却したリングの中で環状電子流——彼にはそう思われた——を励起させた。彼はマクスウェルが書いた「閉じた伝導回路を通過する磁束が変化すると、回路中に誘導起電力が生じる」等々といった文章を読んでいたのだ。臨界未満の温度のときに変動磁「場」をリングに印加したところ、奇跡が起こった。この奇跡は、臨界未満の温度が維持されている限り何年間も(!)減衰しない、環状電子流の発生と解釈された。諸実験がこれを裏づけた！でも、ちょっと待ってくれ。リングの中を実際に何年間も循環しているのが電子であることを、それらの実験はどうやって裏づけたのか？ そのリングの中に電流計が組み込まれたわけではない。裏づけはもっと簡単なやり方で行われた。つまり、電子流の存在はリングの磁気作用にもとづいて判定されたのである。リングが磁針を偏向させている——それはすなわち、リング中に電子流が存在するということだ。何年間も変更させている——それはすなわち、電子流が何年間も存在するということだ！ストップ、ストップ。永久磁石も磁針を何年間もの間偏向させるが、その中に電子流は存在しない。おじさんたちよ、もしかして、あんたらは我々をコケにして、そのリング自体がやはり磁石だなんて言うのかい？ 実は、それは検証されていたことが今では判明している。それは単純なことだった。それまで自分が至極快適に乗っていた木の枝をよく考えもせず切断してしまったのは、カメルリング・オネス自身だった。「鉛の超伝導リングを切断するという着想がカメルリング・オネスの脳裡に浮かんだ。……電流は止まるはずだと思われた。ところが実際には、リングを切断したとき、電流の強さを記録していた磁針の偏向はまったく変化しなかった。それはまるで、リングが電流の流れている導体ではなく、磁石であるかのようにあった」。これは1936年に出版されたフレンケル^[訳注]の著書『超伝導』からの引用である。おそらく、現在、この著書は1冊も探し出すことはできないだろう。親切なおじさんたちが、手の届く限りのすべての本を没収してしまったのだ。この本には、いわゆる超伝導リング中には電子のいかなる環状運動も存在しないという、きわめて重要な科学上の機密が書かれているからだ。

では、そこにはいったい何が存在するのか？ 何年間も磁針を偏向させているのは何なのか？ そこには磁化、すなわち、電荷不均衡の秩序運動が存在しているのである。それはすなわち、電気の2番目の運動方法——物質の移動もジュール熱による損失もなく、しかし磁気作用を持っている運動——である。そうではあるが、しかし、試験片を臨界温度以下まで冷却すると、強磁「場」生成モードへの飛躍的な転移が生じる。この転移は何に起因しているのか？これが最も重要な問題なのだ！ よろしいかね、磁化は閉じた原子鎖に沿った電荷不均衡の運動によって実現されているのである。そのような原子鎖の長さには制

[訳注] ヤコフ・イリイチ・フレンケル (Yakov Il'ich Frenkel) は凝縮系物理学の研究で知られているソ連の理論物理学者。

限があるのだろうか？ そう、あるのだ。その制限は次のことによって決定づけられている。すなわち、そのような原子鎖の長さ上における原子価切り替わりの同期化は、原子価切り替わりの周期よりも短い時間の間に生じなければならないということである。そして、その同期化の継続時間は、原子鎖の長さを光速度で割った商に等しい。すなわち、原子価切り替わりの周期が、電荷不均衡が秩序運動をしている原子鎖の最大限可能な長さを決定しているのである！ さて次に、原子価切り替わりの周期は温度に依存していることを思い出そう。温度が低ければ低いほど、原子価切り替わりの周期はより長くなる——すなわち、原子鎖の可能な長さはより大きくなる。そして見よ、ある温度のとき、同期化が生じ得る領域が試験片全体まで拡大していく。科学的文体で表現すれば、試験片全体が1つのドメインになり始める。これこそが、超磁化と呼ぶことが提案されている状態への飛躍である。閉じた導体の場合、そのとき、電荷不均衡は導体の長さ全体を循環することが可能になる！

もちろん、注意深い読者はここで、それより低い温度になったときに超磁化が始まるそのある温度は、具体的な材料の特性値ではなく、試験片のサイズ——特にその長さ——に依存していることに気がついているはずである。試験片を超磁化状態に移行させるためには、その長さが大きければ大きいほど、試験片をより強く冷却しなければならない。読者いわく、まさか、物理学者たちって、これに気づかないほど馬鹿なの？ おやおや、親愛なる読者よ！ 物理学者たちがこれに気づかなかったなんて、誰があなたに言ったの？ もちろん、彼らは気づいていた！ 「超伝導」デバイスの歴史において生じたあの恐ろしいドラマは、まさにこのことに関係していたのだ！

最初、すべてはなんと順調に始まったことか！ コイルを巻いて、巻き線の両端を互いに接続した。短絡ソレノイドと呼ばれるものが得られた。そのソレノイドを弱い種磁場という条件の下で臨界温度未満まで冷却したところ、ソレノイドは強磁場生成モードに飛躍的に移行した。実験家たちは幸せに顔を輝かせ、電流が損失なしに何年間も流れ続けるこの短絡的奇跡を一般大衆に公開した。一般大衆向けにはこんな説明がされた。「見たまえ、今や、電流源はまったく必要なくなった！ 我々はあらゆる電流源をゴミ捨て場に投げ捨てようとしているのだ！ しかも、数十億キロワット時もの電気エネルギーが節約される！」そんな話を聞いて、一般大衆は科学に対して深い深い尊敬の念を抱いたのであった。ソレノイドを臨界未満の温度に維持するためには冷媒を冷却する必要がある、それは結局、ソレノイドで通常の伝導電流を維持するよりも大きな電気エネルギーをむさぼり食うということ、一般大衆がどこから知ることができただろうか。一般大衆は「勇気ある実験家の皆さん、どうかこの価値ある事業をさらに発展させてください！」と拍手を送った。

それが価値ある事業であり、それをさらに発展させる必要があるということは、勇者たち自身もわかっていた。なにしろ、もっとでっかいのが欲しいんだ！ より強い磁「場」を得て、より多くのキロワット時を節約するためには、何をする必要がある？ そう、正解。ソレノイドの巻き数を増やす、つまり巻き線の長さを伸ばす必要がある。ちっとも問題なし！ 導線をもっと長く取って、巻き付け、両端を短絡し、種磁場を印加し、ソレノイドを冷却した。すると、……すると、何にも起こらない。いくつかの実験室で検証が行われた。再現性は100パーセントだった。物理学者たちは、大好きなおもちゃが目の前で溶けて空中に消えてしまった子供みたいな状態におちいった。物理学者たちは考えた。「どうしてなんだ？ なんておもちゃは消えたんだ？ 小さいソレノイドは強磁場生成モードに移行する

のに、それと同じ温度の下で、大きいやつはなぜ移行しないんだ？ なにしる、材料は同じなんだぜ！」そして、悲しみを紛らわすために超伝導の「諸問題」に関する国際会議を開催した。実を言うと、問題とやらはたった1つしかなくて、議題にかけられたのはその唯一の問題、すなわち「今後、いったいどうするべきか？」だけだった。「ここにいる我々全員は、超伝導の理解に関して少々へまをやらかした」と認めることは、どうしてもできなかった。それは恰好悪いし、性急すぎるように見えた。で、必要なのはこういうふうに見えることだった。「我々の事業は正しい！ 超伝導体中において、電子は以前と同様、現在も運動しているのだ！ キロワット時の節約は長足の進歩を遂げつつあるのだ！」この活動方針の中で最も困難なのは2つ目の点だった。電子がちっとも運動していないのだとしたら、その電子の運動をどう描写するのか？ そこで大急ぎで探し出されたのは、何も描写する必要などないのだという、驚くべき解決法だった。電子たちが自発的に運動することを拒否しているのなら、彼らを強制的に運動させる必要がある！ そのために必要とされるのは、ソレノイドの巻き線の両端を短絡させずに、両端を外部の電流源に接続することだ！ 幸いなことに、電流源をゴミ捨て場に投げ捨てるという一般大衆への約束はまだ実行されていなかった。ただし、外部電流源を接続した状態では閉じた超伝導回路は得られない。ご存じだろうか、液体ヘリウムを電流源に注ぐと、要するに電流源がちゃんと働かなくなるのだ。それゆえ、液体ヘリウムは以前と同様にソレノイドだけに注がなければならない。今度は、回路の一部分だけを超伝導にさせろ、それで構わん！ 回路中の電流はそれでもやっぱり何年間も循環し続けるだろう——電流源がちゃんと働いている限り！ 愚かな一般大衆はそのことに感づきはしない——もちろん、外部電流源についてあちこちで吹聴しない限り！

ああ、なんということだ、最良の研究要員たちは外部電流源を持つ「超伝導」電磁石に取り組み始めた。ある壮大な課題を解決しなければならなくなった。すなわち、電子は電流供給回路では通常の伝導モードで運動しているにもかかわらず、ここ、ソレノイド中では超伝導モードで運動するという信仰を補強するという課題である。ところで、外部電流源のとき、ソレノイド中では通常の伝導電流のみが流れることを示す、少なからぬ証拠があった。例えば、まだ臨界温度未満まで冷却されていないソレノイドに電圧を供給する。そのとき、超伝導はまだ生じていないことに議論の余地はない。さて、ソレノイドを冷却し、もっともっと冷却していくと、——ほら、その温度は臨界未満になる。彼らの言うところに従えば、ソレノイドのオーム抵抗は飛躍的にゼロに変化しなければならない。すなわち、回路全体の抵抗は飛躍的に減少し、それに応じてその回路中の電流は飛躍的に増大しなければならない。ところが、そんな飛躍について報告を行なった者は誰もいなかったのだ。短絡されたソレノイドにおいては飛躍的な移行が観測されたが、外部電流源を持つソレノイドではそれは認められなかった。おじさんたちよ、そこでは超伝導モードへの移行が生じていたなんてこと、あんたらはいったいどこから考え出したんだい？ 理論がその移行を予言していたから？ じゃあ実際には、それはどこにあるんだ？ 我々が今挙げた例は「個別的な例であり、それは何事も証明していない」などと、あんたらはまだ言っている。はたして、この例は個別的だろうか？ はたして、この例は何も証明していないだろうか？ もしかして、あんたら、体の某所をつねられると、それだけで何かの証明を受け入れてしまうような部類の人間なんじゃないの？ まあ、しかたがない、それじゃあ2番目の例。

外部電流源を持つスキームの場合には、回路中の電流の力を測定できるという幸せな可能性が存在する。ところで、ソレノイドの幾何学的特性を知っていれば、ソレノイドをある伝導電流が通過するときにソレノイドが発生させるはずの磁「場」の強度を計算することができる。その計算を行うと、「超伝導」モードにおけるソレノイドが発生させる磁「場」は、幾何学的特性にもとづいて計算したものと事実上一致していることがわかる。おじさんたちよ、それは、実際にソレノイドを流れているのは通常の伝導電流だということを意味しないのかい？ それとも、あんたらには2番目の例でもまだ足りないの？ しょうがないな、3番目の例はあんたら自身がおねだりしたんだぜ。で、その3番目。外部電流源を持つスキームに移行したところ、研究者たちは前代未聞の恐るべき現象にでっくわした。うっかり時期を逸して、ソレノイドを流れる電流がある臨界値以上になるのを見逃してしまうと、ソレノイドは.....焼け死んで悪魔のおっかさんのところ [= あの世界] へ行ってしまうのだ。当初、この現象は最良の科学要員たちをショック状態におとしいれた。彼らが恐怖を抱いたのは、ソレノイドが焼損したことではなかった。恐るべきは、超伝導に関する馬鹿話の真相が暴露されるという現実的な脅威であった。なにしろ、定義によれば、オーム抵抗がゼロの超伝導体が焼損することなどあり得ないのだ。このような状況において大切なのは、途方にくれたり、ヒステリーを起こしたりしないで、科学的勇気を発揮してどこまでも言い逃れをすることだった.....。要するに、精神鎮静用理論を大急ぎででっち上げたのである。この理論は絶望状態にあった者たちのために、焼損しているのは超伝導ソレノイドでは断じてないことを明らかにした。超伝導ソレノイドは焼損する直前に常伝導に転換し、そのろくでなし野郎が焼損するのだ。では、そんなろくでなし野郎への転換はいかにして生じるのか？ ふん、そんなのまったく簡単さ。臨界電流のとき、超伝導体の中にちーっちゃい常伝導領域が生じる。その領域は自発的に生じる。ご存じない方のために説明すると、「自発的に」という用語は「嘘から」という表現に由来する用語で^{〔訳注〕}、誰にでもわかる言葉に翻訳すれば、「“何から”なんて知るもんか」を意味する。さて、超伝導体中で1つの嘘から常伝導領域が生まれると、その領域は別の嘘から試験片全体にすばしっこく広がっていく。いわく、このことが試験片を破滅させるのだ.....。では、加熱と焼損のためのエネルギーはどこから取られるのか？ ふん、そんなのもっと簡単だ。ソレノイドが超伝導だったとき、ソレノイドには磁気エネルギーのそれだけの余裕量があったのさ、おーほっほっ！ まさにそのエネルギーがジュール熱に転換するのさ！何たる悲哀、何たる悲哀！ これより悲しい物語は、この世に存在しない！ 仮に磁「場」に何らかのエネルギーが存在するとしても、そのエネルギーが急速に別の形態に転換するためには、「場」は急速に弱化しなければならない。そのためには、「場」を生み出している電流の力は急速に減少しなければならない。すなわち、超伝導ソレノイドから常伝導ソレノイドに転化するとき、その電流は飛躍的に降下しなければならないのだ！ おい、あんたら、そんなもの、どこで見たことがあるんだ？ 通常の電流が「超伝導」電流に直接転化する際、電流が飛躍的に上昇することに気づいた者は、どんなに探したって誰一人いやしない。ところがその逆の転化のときに飛躍が必要になったときは、そいつがほら、軽々とくったくない顔して

〔訳注〕 これは、ロシア語の「自発的に」が"spontanno", また俗語表現の「嘘から」が"s ponta"と発音されることを使った語呂合わせの冗句である。ちなみに、ロシア語の"spontanno"は英語の"spontaneously"と同様にラテン語の"spontaneus"に由来する。

現われるのだ！ きっと、そいつはフライパンの上で強火であぶられてしまったのではなからうか？ 「臨界電流理論」なら私にだってある。もうちょっとましなバージョンがあるのだ。外部電流源を持つソレノイドを流れているのは通常の伝導電流のみである。その電流は弱くはない。それは通常の電磁石中におけるものと比べてはるかに弱くない。しかしこのことはただ単に、恐ろしいほど低温の冷媒が利用されていて、それがジュール熱を効率的に除去しているおかげにすぎない。冷媒がもはや除熱を十分行なえないほどまで電流が増大すると、ソレノイドは自ら燃えてしまう。これはごく当たり前の話だ。彼らの「臨界電流理論」とは異なり、これは真理であるように思われる。しかし、その理論の捏造作家たちは嘘をついていたわけではない。彼らは都合のいいことなら何でも誓いを立てるのだ！ 彼らを壁に押しつけて問い詰めてみれば、彼らはせいぜいのところ、誠実に考え違いをしていたにすぎないことが判明するだろう！ ご存じだろうか、かつては「臨界電流理論」を裏づけるために、それに関する本の著者たちは、被害を受けたソレノイドたち——熱破壊の不気味な傷跡のあるソレノイドたち——の写真を何の遠慮もなしに発表していた。いわく、見ろ、我々の理論を考慮に入れないと、こんな大惨事が起こるんだぞ！ おやおや、誰かさんの巨大陰茎症に関する理論を裏づけるために、ずたずたに破いたコンドームの写真を発表しても、それと同じ成功を収めることができるんだぞ。あんたらの考え違いの仕方は、あまりにも誠実すぎやしないかい、おじさんたち？

我々の生き方はこうだ！ 短絡したソレノイドにおいては、強磁「場」生成モードへの飛躍的移行が観測されていた。それは、電子の運動ではなく、ソレノイドに沿った電荷不均衡の運動によって実現される超磁化モードだったのだ。しかし、それは少なくとも超伝導の見せかけではあった。それに対し、外部電流源を持つソレノイドはどんなに努力してもそのような見せかけすら持つ能力がない。超磁化モードの場合の難点は、臨界未満の温度において回路の一部分だけでなく、その全体がなければならないということだ。難点はこれでおしまい。数十億キロワット時の節約についてこれ以上もう誰もしゃべらなくなるということだけで、もう十分結構なことだ。大型ハドロン衝突型加速器（LHC）では、主偏向電磁石（1232 個）だけを取ってみても、その各磁石は長さ 1 キロメートル余りの多心ニオブチタン「超伝導」巻き線によって構成されている。もちろん、それらの巻き線は外部電流源によって電気を供給されている。その電流源の規模と技術的特性については、神経が繊細な人には話すべきではない。キロワット時の海、そして液体ヘリウムのメキシコ湾流……。学生たちよ、ここから、間抜けな奴らから巧みに大金をだまし取る手口を学べ！

比較のために。19 世紀には、物理学は勝手放題に振る舞うようなことはせず、電氣流動体という錯誤を労苦と嘆きのうちに^{〔訳注〕}根絶し、電氣の担体は物質粒子であるという真理を確立しようとしていた。例えば、ファラデーは電解液中における直流の通過について研究していた。当然、電解槽中における電流はあれこれの電極への物質の移動によって実現されていた。すなわち、溶解しているガスは陽気に沸き立ち、両電極上で気泡の形で分離していた。そして、溶解している金属は陰極上に——秩序に従い、層をなして——沈着し、電氣めつき皮膜を形成していた。ここで特に重要なのは、電解槽を横切る一定量の電氣の

〔訳注〕 「労苦と嘆きのうちに」は旧約聖書の『エレミヤ書』20 章 18 節「なぜ、わたしは母の胎から出て労苦と嘆きに遭い、生涯を恥の中で終わらねばならないか」から取った誇張表現。

通過は、電極上における完全に一定した量のあれこれの溶解物質の分離を引き起こしていたという点である。実はここでは、さらにその物質の価数も端役ならざる役を演じていた。ある量の2価粒子を電極に付着させるためには、それと同じ量の1価粒子の場合の2倍の量の電気を通過させる必要があった。電気の離散的性格、すなわち素電荷に関する結論が遠くに見え始めたのは、まさにこの時だった！

そして今にいたるまで、電解質中の電流とは、まさに1価、2価、等々であるイオンの運動であるとみなされている。それはすべて結構なことだ。だが、親愛なる読者よ、ある漠たる疑念があなたをさいなみはしないだろうか？ 例えば、電解槽中の溶液が、あるアルミニウム塩の水溶液だとする。アルミニウムは3価なのだから、したがって実験で裏付けられているように、ファラデーの電気分解の法則に従い、 N 個のアルミニウム原子を陰極に沈着させるためには、 N 個の1価原子の場合の3倍の量の電気を電解槽中に通す必要がある。度忘れした人のために言うと、通過した電気量は、回路内の電流の力を検流計で測定し、電流が流れた時間をその電流の力に掛けることによって決定される。また、沈着した原子の数は、沈着した物質の質量を原子1個の質量で割ることによって見出される。ご覧のとおり、完全に透明な算数だ。この算数は、電解液中のアルミニウム原子がまさに3回電離されていることを完全に透明に示している——これは、電気分解理論にとって喜ばしい大勝利だ。……えっ、あんたら何言ってるの、湿式技術の狂信者さんたち！ アルミニウムの3個の外殻電子の結合エネルギーを合計するとどれだけになるのか、あんたら知ってるの？ あっ、53 eV だ！ 化学の尺度で見ると、これはとてつもない大きさなのだ。通常温度下では、アルミニウム原子の3回の熱電離が生じる可能性はまったくない。電解液中でアルミニウム原子から3価イオンを作り出す怪力とは、いったい何なのか？ これについて、科学アカデミー会員たちは真剣な表情でこう説明する。いわく、アルミニウム塩分子は、金属原子の既成の正イオンとそれ以外の原子の既成の負イオンからなっている。水の双極性分子はただ単に、アルミニウム塩分子を解体してそれらのイオンにしているだけなのだ、と。ありやま、「ただ単に」だってさ！ おじさんたちよ、あんたらは高等教育機関で勉強したの、それともただ単にそこを出ただけなの？ 3重の反対電荷の対は、弱双極性分子たち——それらは依然として互いに「鼻づらを相手のお尻にくっつけて」整列している——によって、いったいどうすれば解体され得るのか？ それとも、それらの弱双極性分子たちは、命令に従って体をピンと緊張させたり、さらにはいっせいにブブーと屁をたれたりする能力を持っているとも言えるのか？ もちろん、そうだとしたらいかなるアルミニウム塩分子も存立し続けることはできない。仮にそのような総員突貫作業的なやり方でアルミニウム塩分子がイオンに解体されるのだとしたら、それらのイオンが再結合するのを、いったい何が妨げるのか？ 「うん、それはいい質問だ」とアカデミー会員たちは喜ぶ。彼らにはそれに対するいい答えがあるからだ。「水中の各イオンは水和殻によって取り囲まれている。イオンを再結合させていないのは、まさにその水和殻だ！」 たしかに……その答えはいい響きがあるけどねえ。でもおじさんたち、まず、1個のイオンによって生み出される「場」の強度を、水中におけるイオン間の平均距離と等しい距離だけそのイオンから離れた所において概算し、次にその強度を、電解質中を電流が流れ始めるときに両電極によって生み出される「場」の強度と比較してみたまえ。見てのとおり、後者の強度は前者の強度よりも何桁も小さい。では今度は、あんたらご自慢の水和殻が二重基準に従

って振る舞っているのはなぜなのか、その理由を説明してみたまえ。それは他でもない、水和殻は、イオンが再結合することは阻止しているにもかかわらず、イオンが両電極に向かって動いていくことは愛想よく許可しているということだ。強い引力は無に帰せしめているのに、それと比較にならないほど弱い引力に対しては、完全に通行を許可しているのだ！

おじさんたちよ、もしあんたらがそんな話を受け入れているのだとしたら、あんたらの所じゃ木馬も糞まみれになってるってことだ。おい、電流が電解液をどうやって通過しているのか、あんたらは理解していないってことを認めろよ。イオンについて、あんたらは完全に理解不能な状態になっている。たしかに、イオンの運動によって電気は移動する。しかし、それはどこにおいてか？ うん、それは例えば、弱く電離したガス中において、しかも望ましくは希薄なガス中において——ここではその移動が特に十分に得られる。あるいは宇宙の真空中において——イオン銃からのイオンビーム発射後に。しかし、電解質中においては、すべてはまったく異なっている。そこにおいて解離生成物となっているのはイオンではなくて中性原子とラジカルなのだと、我々にこっそり教えてくれる声がある。そして、それらの中性原子とラジカルを取り囲んでいる水和殻は、まさに実効電荷を持っている。水は驚くべき物質である。水の中は電気でごった返しているのだ。これについて、少し詳しく検討することにしよう。

水が持つ異常な物理的性質を数え上げることはしない——そのリストは長くなりすぎるから。「そのすべての性質は、水中に多数の水素結合が存在していることに起因しているのだ」と、アカデミー会員たちがもごもご言っている——我々の目をまっすぐ見ないよう努力しながら。なぜ見ないかという、それは彼らが謙虚だからじゃなくて、「水素結合」とはいったい何なのかを理解していないからだ。なにしろ、彼らが通常の化学結合の本性を理解していないのだとしたら、結合している原子間の距離が通常の結合の場合の 1.5 倍もある異常結合について、どうすれば理解することができようか。すなわち、それらの原子は、ゴーゴリが語っているように、「ご想像いただけますかな、まったく何にも接触していないのに、まるで悪魔みたいに空中にぶら下がっておるのですよ」^{〔脚注〕}。アカデミー会員たちは彼らに特有の判断力を働かせて、水分子中の水素原子は自分の酸素原子に化学的に結合した状態のまま、どうしたわけか、少し離れた所にある別の水分子の酸素原子と結合するのだと断定した。すなわち、異なる水分子に属する 2 つの酸素原子が、「水素橋 [hydrogen bridge]」を通じて結合しているというのだ。いわく、通常の氷の結晶構造は、その全体がそのような水素橋を土台として維持されている。そして、水素橋の一部が融解すると液相が生じ、その部分がより大きくなればなるほど、水の流動性はより大きくなる。

「まあ、よかろう」と我々は言っておこう。ただし、次のことを指摘したい。あんたらの「水素橋」は **1 個**の水素原子を通じて構築されている。そのことは構造学的研究によって裏づけられているのかい？ 1957 年に重水の氷の中性子回折法による研究が行われた。中性子散乱画像の解析は、酸素-酸素の原子対は **2 個**の重水素原子を通じて結合している

〔脚注〕 これはロシアの作家ゴーゴリの小説『死せる魂』の中の「コペイキン大尉の物語」の一節である。小説におけるこのセンテンスの主語はもちろん原子ではなく、ペテルブルグの川にかかる橋々である。著者がこの一節を引用したのは、その「橋々」のイメージが、以下で論じられる「水素橋」の実態を表しているからであろう。

ことを示した。すなわち、重水ではない、通常の水の氷においては、水素橋は**2個**の水素原子を通じて構築されており、それらの水素原子のそれぞれは、自分の酸素原子から、化学的条件によって決定される距離だけ離れた所に存在しているのである。水素橋中の2個の水素原子に関するニュースは専門家たちを昏迷状態におとし入れた。なにしろ、氷の中の酸素原子1個当たり、4つの隣接原子への4つの水素橋があることを考慮した場合、構造学的研究に照らしてみると、水の化学式は H_2O でなければならないことになるからである。理論家たちは思案した。「だめだ、“エイチツーオー”を侮辱してはならん。何でもいからそれらしきことを考え出す必要がある」。というわけで、彼らは考え出した。いわく、水素橋中にあるのは結局のところ水素原子1個なのであって、その1個だけが1つの安定状態から別の安定状態へと、ウサギのようにあっちへこっちへと跳びはねているのだ。それはあたかも、2個の酸素原子が水素原子1個でピンポンをやっているかのようなものなのだ、わかるかい？ そしてそのとき、2個の酸素原子が結合されているかのようなものなのだ。共通の任務こそがそれらを結合しているのだ。

あのね、おじさんたちよ、そういった類の一般大衆向けの説明は魅力的だけど、残念ながら、あんたらの説明は物理学じゃなくて、最初から最後まで通俗的なアナロジーだ。実は、水中における水素原子1個を通じた長距離結合に関するまさに物理学的な説明があって、それは中性子ビームプローブ法の結果と完全に一致しているのだ。そんなものあるはずがないと、あんたらは言うに違いない。それは、氷中における水素結合は定常的であるという先入観の泥沼に、あんたらがハマり込んでいるからだ。長距離結合は切り替わり可能であるということ、そして各時点において氷中の酸素原子1個当たりにつき平均して2つのそのような結合があるということを、ちょっと頑張って認めてみたまえ。で、そういう結果が得られるために必要とされるのは、まったくどうってことのない1つのことだけだ。それはすなわち、酸素原子における4つの最長距離の原子内「陽子-電子」結合が、各時点においてそのうちのいずれか2つだけが価電子「陽子-電子」結合となるような仕方で、価電子価結合の状態から非価電子結合の状態へと、順番に転移するということである。ここでも再び、これは純粹にソフトウェアによってなされる。今述べたことに類似したことが金属原子に生じていることについて、我々が前のほうで既に述べたことを覚えておいでだろうか？ ただし、金属原子の場合には、原子価切り替わりは集合状態の如何とは無関係に生じている。水分子中の酸素原子の場合には、それは幾分異なっている。この場合には、原子価切り替わりモードは、十分な数の水分子が集合して一山をなしているときに作動するのである。あるアニメで、お猿さんが「3つのクルミ、それは一山？ ちがうの？ じゃあ、4つは？」と、しつこく質問する場面があった。一山は何個から始まるのか？ 水分子に関しては、この問題は解決済み、しかも抽象的なところのまったくないやり方で解決済みだ。原子価切り替わりモードがオンになるような数の水分子が集まって一緒になったら、微小水滴が得られた——それはすなわち、水分子が集合して一山になったということだ。また逆に、ある大きさの水滴が蒸発によってどんどん小さくなって行って、水滴中の水分子の数が一山より小さくなるまさにその瞬間、ただちに原子価切り替わりモードがオフになり、微小水滴に爆発的蒸発が生じる！

我々が水中における原子価切り替わりについてこんなにも詳しく語っているのは、水分子構造のダイナミズム、そしてそのファンタスティックな電氣的性質は、まさにその切

り替わりによって決定づけられているからである。水分子中の水素原子は、酸素の価電子「陽子-電子」結合にのみ化学的に結びつくことができる。その結合が価電子結合としてのステータスを失うと、水素原子は自由原子となり、近傍酸素原子のうちの1つに——その原子の価電子「陽子-電子」結合となった「陽子-電子」結合を通じて——結びつくようになる。凝集状態にある水——それは、組成が変化しない分子の集合体ではなく、分子レベルにおいて沸き立っている媒質なのである。すなわち、その媒質の中で、各分子は近傍分子との間で水素原子を規則的に交換しているのだ。しかし、話はまだこれで終わりではない。

さて、 OH^- イオンと H^+ イオンに解離しているのは、液体の水分子のごく微小部分であるとみなされている。その解離のメカニズムは熱解離ではないことを初歩的な計算は示している。「では、いかなる解離なのか？」——この疑問は、科学に問いかけないほうがいい。科学にとって不愉快な事態が生じるからだ。我々とは言えば、 OH ラジカルと H ラジカルへのトータルな崩壊を伴う、水分子の組成の規則的再編成について語ることにしよう。例えば、その描像は何らかの電氣的な色合いは持っていないのか？ もちろん持っている！酸素の「陽子-電子」結合が価電子「陽子-電子」結合としてのステータスを失うとき、その結合はしばらくの間、最大の負の電荷不均衡の状態でペンディング状態となる。それゆえ、水素原子が「脱落」した後に残る OH 基は、素の負電荷を持つラジカルとして振る舞う。「脱落」した水素原子は、それに応答して最大の正の電荷不均衡を誘導し、そのとき、陽子として現われる。まさにここから、いわゆる OH^- イオンと H^+ イオンが水中に生じることになる！しかし、それらはイオンではけっしてない。それらの電荷は、電荷不均衡を通じてイミテートされたものなのだ！水——それは一種独特の液体プラズマであり、文字どおり電気で沸き立っているのだ！注意深い読者はここで、その沸き立ちはトータルな性格を持ち、それぞれの水分子に影響を及ぼすということになるが、実験で検出される OH^- イオンと H^+ イオンへの解離は、ごく微量の分子のみの解離であることに気がつかれるに違いない。それはすべて正しい。しかし、ここに矛盾はない。溶液中のイオン濃度は、イオンは長寿命であるという暗黙の前提の下に、電気伝導率の測定によって決定されている。しかし、水中における分子の再編成が約 10^{-11} 秒という化学的特性時間の間に進行するのに対し、 OH^- 「イオン」と H^+ 「イオン」はそれより短い時間しか生きられない。それゆえ、水の場合には、電気伝導に寄与するのはごく薄い電極近傍層の水のみであり、まさにこのことが OH^- と H^+ の濃度測定値の驚くほどの低さをもたらす。その代わりに、電極間電圧が小さい場合でも、その弱電流は純水中を流れることができる。デービー [Humphry Davy] が2ボルトほどの電圧を与えるボルタ電池に接続された水中の電極上で酸素と水素を分離することに成功したのは、そのためである。これが「電気分解」——電気による分解——と呼ばれているわけだ。しかし実は、液体の水を電気を用いて分解する必要はないのだ。水自体が自らを分解しているからだ。分解生成物を少しずつ電極まで運んでくることができさえすれば、それで万事オーケーなのである。この話が信じられない人は、2ボルトの電圧でベンジンの「電気分解」ができるかどうか、試してみたらいい。そんな人は、さんざん笑いものにしてあげる。どうしてかと言うと、その場合には破壊電圧——何十キロワットといった電圧——が必要とされることを我々は知っているからだ。ただし、子供たちよ、もし君たちがその実験をやってみようという気になったとしたら、自分たちがやろうとし

ているのは、何か新しい発見などではないということ念頭においておきたまえ。この件に関しては、もう既に特許が与えられているのだ。それは次の特許だ。

生徒は高電圧を投入し

純粋なるベンジン中にて 絶縁破壊を得ることに成功せり！

医師たちはその命を救わんと 長時間渾身の努力を傾けり.....

校舎から残りしは 煉瓦の破片のみなりき.....

さてつまり、水の中は OH^- ラジカルと H^+ ラジカルでゴった返しているのであって、まさにこのことのうちに、強力な溶解力や腐食作用を含め、水が持つ化学的侵食性の秘密が隠されているのである。理論家たちは奇妙なやり方で、水による鉄の腐食を、電気化学的腐食——2種類の金属のガルバニ対の形成、およびそれらのうちより大きな正電位を持つ金属の溶解を通じた腐食——と偽っている。しかしなにしろ、水と接触したとき、鉄は溶解せず、さびになることは子供でも知っている。学校の生徒たちは、さびとは鉄の水酸化物であるという説明を受けている。.....えっ！それはまさに化学反応の結果ってことだよね！水による腐食時には金属の溶解が生じていると教えているおじさんたちは、そのう、なにかい、愚か者ってことかい？うーん、その質問に対する答えは一義的ではない。以前、彼らは金属中および水中における原子価切り替わりについて知らなかった。現在、彼らはそれを知りたい。彼らは自分の無学さを何がなんでも維持しようと試み、きわめて首尾一貫した行動をとっている。どうして彼らを「愚か者」などと言えようか？それどころか、彼らはなんと明確な目的意識を持っていることか！しかし、彼らのために次のことが語られてはならない。すなわち、水の中にうじゃうじゃいる OH^- ラジカルと H^+ ラジカルは、一時的に自由な状態になっている金属原子の原子価結合に容易に「腰をおろし」、それらの原子価結合を自分に閉じ合わせた後、ダイナミックに変化する結晶格子から金属原子を徐々に排除するに違いない。水酸化物の集合体は、まさにこうして形成されるのである。ちなみに、防食対象物上における負電位の創出——例えば、直流電圧源の「マイナス」側への防食対象物の接続——による方法が、水による腐食に対する防護方法としてきわめて効果的である理由が、以上のような捉え方によって理解可能になる。負電位は、 H^+ ラジカルが防食対象物と相互作用することを可能にするが、 OH^- ラジカルが相互作用することは許さない。それをどんなに願っても水酸化物が生成することができないのは、そのためだ。

さて最後に、電解質中における奇跡について。ここに金属塩がある。金属塩は、金属原子に生じる原子価切り替わりのせいで化学的に不安定であり、また吸水性がある。かろうじて維持されているそのような金属塩が、 OH^- ラジカルと H^+ ラジカルでゴった返している水の中にあつたら、何が生じるだろうか？そう、それは明白だ。水は金属塩から金属原子を素早くほじくり出す——「溶解」はまさにこうして生じるのだ。ただし、 OH^- ラジカルと H^+ ラジカルは、両方とも同じようにうまいこと金属原子に「ひつつく」わけではけっしてない。前にも述べたように、 OH^- と H^+ の電荷は、電子の過不足ではなく、電荷不均衡に起因している。そういうわけで、化学結合を形成する用意のある金属原子中に生じているのが負の電荷不均衡である場合には、その金属原子に結合するのは、正の電荷不均衡を持った水素原子となるはずである。ところが、そのときに水素原子が金属原子に対して差し向けるのはその陽子であり、電子ではないのだから、したがって結合は得られない。逆に、

金属原子中に生じているのが正の電荷不均衡である場合には、OHラジカルが金属原子に対してまさに電子を差し向け、したがって結合が高い確率で形成される。しかし、電氣的に中性な「金属-OH基」結合と並んで、H⁺ラジカルが残っていることに注意せよ！金属が3価の場合には、「金属-OH基3個」の中性結合と並んで、3個のH⁺ラジカルが残っている！もちろん、「金属-OH基」結合は金属原子の原子価切り替わりのせいで不安定ではあるが、その構造はダイナミックである。その結果、H⁺ラジカルによって生み出される実効電荷を持つダイナミックな水和物錯体が金属の価数と等しい数だけ形成される。金属塩水溶液の電気伝導性は、まさにこの水和物錯体によって実現されているのである。ここにはおとぎ話のような電離は一切なく、すべては現実的である。酸の水溶液とアルカリの水溶液について言えば、前者の場合はH⁺ラジカル、後者の場合はOHラジカルが溶液中において過剰量となる。電氣的平衡のこれらのシフトこそが、電流の通過を実現しているのである。述べるべきことはまだある。アルコール類と糖類の分子もOH基およびH基を含有しており、水にきわめてよく溶解する。ところが、それらの水溶液は電流をよく通さない。不思議だっけ？ちっとも不思議ではない。アルコール類と糖類が溶解すると、同じ量のOHラジカルとH⁺ラジカルが形成される。つまりそれは、溶液に純水を加えるのと同じことなのだ。

以上において我々が述べてきたのは、電解質を通る直流についてであったことを確認しておこう。電解質を通る交流に関しては、すべては直流よりはるかに愉快になる。鈍重な水和物錯体は、交流電圧に対して自らの移動をもって応答することを、既にかなり低い周波数のときからやめてしまうのだ。周波数が数十キロヘルツになると、電解質を通る電流全体はもはや物質の移動によってではなく、マクスウェルの「変位電流」、すなわち電荷不均衡の波によってもたらされるようになる。ゼロに近い周波数の場合、水和物錯体が水媒質を押し分けて進んでいき、このことが機械的・熱的作用を与える。高周波数の場合には、電荷不均衡の移動に関してそのような作用が認められたことはない。ところで、人体の75%は電解質水溶液から構成されている。まさにこのことから、直流電圧が、小さい電圧であっても人間にとってきわめて危険になり得ること、また、比較にならないほど大きな振幅を持つ高周波電圧が無害であることの理由を理解することができる。テスラは、そのような高周波電圧は有益でさえあると断言していた！

もう一つ言わねばならぬことがある。水が持つファンタスティックな電氣的性質について語っているのに、水の構造型 [structuredness of water]、水の「記憶」といった現象について黙っているのは罪というものだろう。これはあまりにも反科学的な現象なので、これに関するどんな無邪気な質問も、アカデミー会員たちを即座に狂犬病に罹患させる。彼らは、自分が説明できないことは自然界には存在しないと本気で考えているからだ。でも、もしそれがやっぱり存在するのだとしたら、そのときこそはじめて狂犬病が人の役に立てくれることだろう…… [訳注]。よろしいだろうか、水の構造型は、定常的結合によって維持されている分子錯体の水中における存在に帰着させることはできない。水中における長距離結合は原理的に切り替わり可能な結合だからだ。しかし、その切り替わりは特異的に秩序

[訳注] 狂犬病は恐水病とも呼ばれるきわめて致死率の高い病気である。著者はアカデミー会員たちが狂犬病で死んで絶滅することではなく、水に死ぬほどの恐怖を感じ、その結果、改心して真つ当な科学者になることを願っているのであろうと解釈したい。

立ったものである可能性があり、このことがそれに対応した電気的効果を与えているに違いない。

水和物錯体について思い出そう。その中心には金属原子がある。金属原子の原子価切り替わりは、非補償電荷——水和物錯体中の H^+ ラジカルがその電荷とみなされる——が飛躍的に移動するという結果をもたらす。それは、周囲の水中における構造切り替わりのダイナミズムに影響を及ぼすはずではないか？ もちろんそのとおりだ！そして、水和物錯体中における正電荷の飛躍が循環的に生じることを考慮すると、水中の水和物錯体から構造波 [structural waves] が拡散し、ノイズにかき消されない限り拡がり続けるという結論が導き出される。水中における構造波——親愛なる読者よ、これは冗談ではない。一部の海の生き物たちは、構造波をかなり良く感知しているらしいのだ！サメを使ったこんな実験が行われたことがある。サメたちは著しく離れた場所の水中における鮮血の出現に対して迅速かつ正確に反応した。なお、その際、その場所で視覚と嗅覚が働く可能性は排除されていた。この実験の結果は機密扱いにされた——アカデミー会員たちを興奮させないようにするために。

しかし、話はまだある！考えてみて欲しい。構造波は水中を拡散していき、どこかで減衰するのだ！構造波の源が小さい体積の水の中にあり、しかもその体積全体が特異的に構造化されている場合には、そうでない場合に比べ、その減衰ははるかに急激となる。そのような水を慎重に希釈していくと、希釈された純水は同一の構造化を獲得する。この結果は、希釈を膨大な回数行なったときも繰り返される。事態は「仮想的溶液」に至るのだと、ホメオパシー療法の治療師たちは主張する。例えば、そのような水の入ったビン10本当たりにつき、最初に溶解された物質の分子は1個以上存在しないが、それらのそれぞれのビンに入っている水は、高い選択性を持った同一の治療効果を示す。水が構造化された後は、初期物質との接触はもはや不要なのである！それだけではない。そもそも、初期物質を水に溶解しなくてもよいのだ。なぜなら、もし水の構造のダイナミクスが電気的効果を伴って生じているのだとすると、それに対応する特異的スペクトルを持つ電磁放射によって水を処理すれば、そのダイナミクスの特異的な秩序性を得ることが可能だからだ。検証が行われた。そのとおりだ！治療効果も存分に発揮されている！アカデミー会員のおじさんたちよ、まだすつとぼけて、これらすべてを否定し続けるつもりかい？

ところで、親愛なる読者よ、アカデミー会員たちはそれでなくてもひどい目にあったことがある。それは、彼らが融解水の生物学的性質の問題にいや応なしに首を突っ込まざるを得なくなったときのことだ。こんなことが起きた。野外調査を行っていたある平凡な生物学者たちが、溶解しつつある氷の近傍の水中では生物たちが通常よりも激しく沸き立っていることに、あまりにも強い印象を受けた。それで軽率にも、これに関する論文を発表してしまった。彼らのせいで、「融解水の生物学的作用」に関する研究大会を開催したり、論文集を発行したりしなければならなくなったのである……。融解水は生体にとって特に好適である、なぜそうなのかを知るためには、さらなる研究が必要とされるという結論さえ下された。それ以来、今に至るまでそのさらなる研究が必要とされている……。我々が答えをこっそり教えてあげてもいいかな？水が凍結するとき、病原性の構造化を含め、水の構造化は消失する。氷が融解したとき、融解水はしばらくの間、構造的意味において「濁っていない」状態にある。生体たちよ、自分のチャンスを逃がすな！ちなみに、おそらく

ほとんどの老婦人は、神現祭（1月19日）^{〔訳注〕}の前夜、液体の天然水が特別な性質、つまり生物学的に有益な性質を帯びることを知っているはずだ。それは、水の病原性の構造化が強制的にリセットされることの結果なのではないか？ これに対するアカデミー会員たちの反応は予想できる。彼らにとっては、水の病原性の構造化のその強制リセットを行なうのが具体的に誰なのかを知ることが、何がなんでも必要なのだ。いわく、我々がその若造の名前と職名を呼んで、そやつの勤務評定書を示してやらない限り、お前らはもうそれ以上ぶつくさ言うんじゃないやねえ。おやおや、おじさんたち、あんたらでも知識欲旺盛なことがあるんだね！ そんな若造なんて、あんたらにそっくりくれてやるよ！ でも、そいつは若造なのだろうか？ もしかしたら、水の病原性の構造化の強制リセットは、大昔から自動モードで行われているのではないか？ どの「ように」という言葉は何を意味するか？ その強制的リセットについて言えば、それは、あんたらのコンピューターで月に1回、ハードディスクからありとあらゆるばっちいものが自動的に消去されているのほとんど同じ「ように」行われているのだ！

ふう、ここらで一息入れる必要がある。さて、金属との関係において電気について論じるとき、電荷不均衡を考慮しなければ、まずい結果が得られる。水との関係で論じる場合も同様である。もしかしたら、せめて誘電体の場合ぐらひは、その電氣的性質は電荷不均衡を考慮しなくても簡単に説明できるのでは？ おや、何をおっしゃる！ 例えば、誘電体材料の重要な特徴は、その体積中で外部電「場」を弱化させる能力——その弱化の割合が誘電率と呼ばれる——を持っていることだ。平板コンデンサーの皮膜と皮膜の間に誘電体プレートを挿入すると、プレート内部の「場」は、プレートを挿入する前のコンデンサー内の「場」よりも弱くなる。誘電体はその体積の範囲内において外「場」をどのようにして弱化させるのだろうか？ もし固体誘電体中に自由電荷があるとすれば、それらの自由電荷はプレートの2つの表面——正電荷は一方の表面に、負電荷は他方の表面——に向かって走り去り、外「場」を弱化させる「場」を創出するはずだ。でも残念でした、誘電体中に自由電荷は存在しない。しかし、そんな苦境にあっても、真の理論家たちはいささかも取り乱さなかった。彼らはまず最初に、その分子中における正電荷の実効中心と負電荷のそれとが若干ずれている材料に関する仕事を手早く片づけてしまった。電気学的観点から見ると、そのような分子は一方の端に一部の正電荷、他方の端に一部の負電荷がある、両端を持つ棒のように見える。こういうものは科学用語では「電気双極子」と呼ばれている。電「場」中の自由双極子は強度ベクトルと逆の方向を向いており、双極子の両端の間においては、結果として生じる「場」は外「場」よりも弱いものになる。そら、幸運が転がり込んできたぞ！ いわく、この先、すべてはこの上なく簡単になる。つまり、誘電体中の双極分子は外「場」と逆の方向へ方向転換する、言うなれば、外「場」を弱化させるのだ！ おじさんたち、じゃああんたらは、言うなれば、自由な分子と固体の組成に含まれる分子との間に違いを感じているってことか？ もしかして、あんたらは、固体中の分子はまるで飛んでいるペンチみたいに、2つの角度に沿って体を振りながら、自由に回転することができると考えているのではないか？ しかも、そんな落ち着きのない分子で構築されている固

〔訳注〕 神現祭（洗礼祭とも言う）はロシア正教の十二大祭の一つで、ロシア旧暦1月6日（新暦1月19日）にイエス・キリストがヨルダン川で洗礼を受け、神の子として公に現われたことを記念する日。面白いことに、元旦（古くは立春）に行われる日本の「若水取り」の神事でも、若水が邪気を払うとされている。

体中には、いかなる分子間結合も存在しないと考えているのではないか？ もしそうだとしたら、いかなる不潔な力が結晶格子を維持しているのか？ それとも、あんたらの魂胆によれば、自分の理論を理解するためには馬鹿のふりをする必要があるとでもいうのか？

しかも、なにしろ、多くの分子は双極子ではないのだ。そのような分子からなる誘電体が、どうやって外「場」を弱化させるのか？ ここで理論家たちは、通常の分子は外「場」の作用の下で双極子に転化する、すなわちそれらの有効反対電荷は互いに分離するのだ——まるで氷の上で牛の前脚と後脚のひづめがツルツル滑って前後に開くように——という考えに憑りつかれた。いわく、ほら見ろ、これが双極子だ、ほら見ろ、これが外「場」の弱化だ！ はい、ご親切なことですね。でもおじさんたち、せめて、観測されている「場」の弱化が確保されるためには、分子中の電荷がどれだけ互いに分離しなければならないかを——あんたらの素晴らしい公式に従って——概算してみろよ。特に、誘電率が数万以上に達する強誘電体の場合について。あんたらが得るのは、分子間距離を超えるととても大きく大きな電荷分離だ。しかもそれは、「場」の強度が絶縁破壊強度からさらにかげ離れた大きさのときにである。結晶格子はそれほどまでにひどい侮辱に耐え切れず、崩壊して無に帰してしまはずだ。しかし、結晶格子は現実には崩壊しない。双極子になった分子が誘電体中の「場」をいかにして消滅させるかに関するあんたらの作り話を、結晶格子は屁とも思っていないのだ！ ちなみに、その作り話によれば、双極子の仲良し集団全体の力で「場」を消滅させるためには、誘電体の体積全体において分子が双極子に転化しなければならないとされている。たしかに、みんなで力を合わせて襲撃すれば、もちろん、「場」は簡単に消滅するだろう。しかし、ここには1つ障害の元がある。ここでは、みんなで力を合わせて襲撃することは無益なのだ。平板コンデンサーのプレート間の「場」は、反対電荷の微視的な分離によって創出される。それゆえ、その「場」は、電荷の他ならぬ微視的な分離——例えば、誘電体プレートの2つの表面に誘導された反対電荷——によってのみ弱化されることができる。プレート内部の双極子は、真っすぐの方向でも、好き勝手な方向でも向かせることができる。そのいずれにせよ、これは外「場」の弱化を与えない。なぜなら、プレートの層中における1個の電荷の平均体積密度はいずれにしてもゼロになるからである。外「場」の弱化という事業においては、プレートの両面における表面電荷だけがいやな仕事をやらされる羽目になる。分子双極子にはそのような電荷を創出する力はない。でも電荷不均衡にとっては、それは大好きな仕事なのだ！

ここまで述べたことは、誘電体に関する学説——それはいかにして外「場」を弱化させるか——の第1部にすぎない。この分野は、まあなんとなくけど、「弱場に関する分野」と呼ばれている。ところがさらに、「強場に関する分野」があつて、こっちのほうがずっと難しい。この分野では、理論家たちは電氣的破壊の現象について論じている。こいつが固体誘電体をどんなふう破壊するか、ご存じだろうか？ プツ、プム！と貫き通すのだ。言うまでもなく、もし固体理論がなかったら、物理学者たちは誘電体中に自由電子は存在しないと単純素朴に考え、暗闇の中をさまよい歩くことになったはずだ。では、固体理論は何を我々に語っているか。固体理論が語っているのは、固体誘電体は金属と同様に自由電子でごった返しており、固体誘電体の結晶格子も金属と同様に電子ガスによって維持されているということである。固体理論にとっては固体金属だろうが固体誘電体だろうが、どっちでもいいのだ。あんたらリスさん、ウサギさんはこうお尋ねだ——ではなぜ、誘電体

は直流を金属ほど良く通さないのか？と。うーん、それは平均的頭脳向けの問題じゃないんだ。バンド理論が我々に教えるところによれば、誘電体中においては、それぞれの自由電子ごとに、それがいかなる運動量ベクトルを持っているかにかかわらず、それと正確に反対の運動量ベクトルを持った別の自由電子1個が存在する。そしてさらに、室温でも純粹のクーパー対が存在するのだ(これに対してもノーベル賞が与えられていいはずだが、ノーベル賞は同じ事項に対しては与えられないことになっている)。そこでこうなる。すなわち、誘電体中には大量の自由電子があり、それらが狂ったように右往左往している。しかし、それらの総運動量は常にゼロに等しい、つまり、電気の移動は原理的に存在しない。誘電体に対してはお望みのことを何でもすることができる。ハンマーで殴っても、曲げても、のこぎりでいくつかの部分に切り分けても、熱したり冷やしたりしても、そこに「弱い」電圧を加えてもいい。しかし、電子の総運動量はゼロであり続ける。それがわからないのだ。どうすればそんなことが可能なのか？ 実は、物理学者たち自身もそれを理解していないのである。この奇跡の責任を誰かになすりつけて厄介払いするため、彼らはフェルミ-ディラックのお化けに関する噂を意図的に拡散させた(我々は論文「量子力学のトリック」でこのお化けについて語ったことがある)。いわく、誘電体中における自由電子の総運動量をゼロにしているのはそいつ、フェルミ-ディラックのお化けなのだ。そいつ以外には誰もいない。

ああ！ もしそうだとしたら、電氣的破壊理論はきわめて単純となるに違いない。破壊電圧が加わると、フェルミ-ディラックのお化けは自分の職務を果たさなくなる、はい、これでおしまい！ もしかしたら、破壊電圧が彼を麻痺させるのかもしれない。あるいはもしかしたら、そもそもそのお化けは、破壊電圧からひづめをさっと引っ込めるのかもしれない。ここには、理論的思惟が飛翔するためのそのような広大な空間があるのだ！ しかし駄目だ、どうしたわけか、その空間の眺望は理論家たちの関心と呼ばなかった。彼らは多数の電氣的破壊理論を生み出したが、そのどれ一つとしてフェルミ-ディラックのお化けをめぐる不愉快な出来事に立脚したものではなかった。理論家たちは互いに取り決めをして、その取り決めに従って各人それぞれの流儀で空とぼけているのではないかという印象が生じる。例えば、誘電体中の電気伝導チャンネルは、電子衝撃による電離の結果形成されるのだという説明が考え出された。それらの多数の理論の中で、この理論は特に上出来だった。この理論には、物理学者のハートにとって何かあるもの……キスしたくなるような何かがある。もちろん、この理論には欠点もあるが、その欠点さえもが魅力的だ。例えば、固体中の原子は密に充填されており、したがって電子は、原子の電離にとって十分なエネルギーを原子間の間隙の一定区間のみにおいて集めなければならないはずである。しかしそのためには、実験で得られている破壊値を2桁ほど上回る強度が必要とされる。電子衝撃による電離による電氣的破壊の理論が実験と一致するためには、固体誘電体中における低速度電子の自由飛程は数百オングストロームでなければならないが、原子が密に充填されているため、それは不可能である。どうした、難問が生じたのか？ そんな難問なんか、簡単に克服できるんだぜ！ そこで理論家たちは量子力学を引っ張ってきて、汝、我らが雑食性理論よ、この問題を究明せよと命じた。そして、万が一に備え、この困難な事態からちょっと身を遠ざけた。まさにそのとき、ものを噛み砕く音、そして満足げにぴちゃぴちゃ食う音がして、結局、そのような場合に予想されるべき結果が生じた [=「雑食性」の量子力学がその難問に

食らいつき、強引なやり方で始末したということ]。いわく、たしかに、低速度電子は個別の原子を通り抜けることはできないが、原子が多数の場合には、電子は第六感でそれら全部の原子をいっぺんに感じ取り、全部の原子をいっぺんに押し分けながら進んでいくのだ。電子はそんなふうにして所与の数百オングストロームを踏破し、原子の電離にとって十分なエネルギーを集めた後は、それらのうち1個のみに心を込めてはまり込むので、全部の原子をいっぺんに感じ取る才能を失う。それゆえ、その1個の原子のみが電離するのである。見よ、既に自由電子は2個になった！ それらはさらに2個の原子を電離させることができ、以下、それが続いていく。すごいぞ、電子雪崩が生じるぞ！ まさに電氣的破壊が得られるのだ！ ……ところが、なあんだ、またも不一致がポケットから這い出て来た。一番最初の電子は、試験片の層内の任意の場所から電子雪崩を誘発することができるはずだ。しかし、試験片の真ん中あたりから始まるような固体誘電体中の絶縁破壊チャンネルを観測した者は、これまで誰もいない。そのチャンネルは必ず試験片の表面で始まっているのだ！ なんたる神秘……。しかもそもそも、衝撃電離による破壊理論は、電子雪崩を誘発する自由電子の個数が片手の指で数えられる程度である場合、バンド理論に対して死ぬほどの侮辱を与える。バンド理論によれば、破壊されていない誘電体でさえ自由電子でゴった返しているからである。先人たちの成果に対する敬意はどこにあるのか？ それとも、失礼ながら、バンド理論はまったく成果などではないとでも？ では、いったい何のために高等教育機関で今もバンド理論を教えているのか？ この理論なしじゃ、学生たちが退屈するからなのか？

親愛なる読者よ！ 電荷不均衡のコンセプトをもう一度思い出してみよう。読者からの質問——そのコンセプトは固体誘電体の電氣的破壊を説明する上で、どのように役立つのでしょうか？ お答えしよう。簡単だ！ しかも、いかなる神秘もない！ 前にも述べたように、固体中では原子が密に充填されているため、自由電子であり続けているはずの電子が一定方向に運動することは不可能である。金属中においてさえ、陽極への電子の移動は自由電子と束縛電子の間の「人員ローテーション」モードで行われている。誘電体が導体になるためには、誘電体中においてそのような「人員ローテーション」の可能性が創出されなければならない。それゆえ、誘電体中にはそのような可能性はない。例えば、そこには自由原子価のない、定常的化学結合を持つ結晶は良い誘電体である。それとは別の誘電体、例えば金属酸化物が存在する。それは奇妙ではないか？ なにしる、その組成には、原子価切り替わりを受ける金属原子が含まれているのだ！ いや、奇妙ではない。その切り替わりの秩序性が高いときには、いかなる価電子も外来電子のためのトラップとなるほど長時間、自由原子価であり続けることはできない。それゆえ、ここでも「人員ローテーション」モードの可能性は排除されている。結論：電気伝導が確保されるためには、(原子の尺度で見ても)長寿命の自由原子価が必要とされる。ではそのためには、誘電体に対して何を必要とするのか？ そう、そのとおり、誘電体中の化学結合を切断するのだ！

また、破壊電圧の場合、電荷不均衡はこの課題を立派にこなすことができる。次のことを思い出そう。誘電体中における外部電「場」の弱化は、誘電体の両面——いくつかの原子層内——において異符号の電荷が誘導されることに起因している。その際、最も外側の原子層では最も強い電荷不均衡が誘導され、その層の下の次の層ではそれより若干弱い電荷不均衡が誘導される、等々となる。これは「電荷不均衡の勾配」と呼ばれる。外「場」が強ければ強いほど、誘導される電荷不均衡はより強くなり、またそのことによってその

勾配もより強くなる。からくりの秘訣はここにある。ここで重要なのは、化学結合は、ある束縛原子から別の束縛原子へ、またその逆方向への熱エネルギー量子の循環的な跳び移りによって安定化されているということである。ところで、電荷不均衡もやはりエネルギーを持っている。したがって、電荷不均衡という条件の下で、束縛原子たちが持つ当該のエネルギーの間の差が熱量子のエネルギーと同一になったとき、化学結合は不安定となる。これでおしまい！破壊電圧の意味はまさにここにある。このモデルにもとづいて得られた破壊電圧に関する公式は結構よく働いてくれる。化学結合は電荷不均衡の勾配が最も強い所、すなわち表面において切断され始めることを覚えておこう。電氣的破壊チャンネルが常に表面から始まるのはそのためである。こう問うことができる。そのチャンネルは誘電体層中でいったいどのように発達するのか？なにしろ、そこには電荷不均衡は存在しないのだ。答えはこうだ。成長しつつある電気伝導チャンネルの針状の終端は「強い非一様電場」の源であり、それ自体が化学結合を切断する力を持っているのである。これはすべて本当だ！このモデルにもとづいた多層金属-誘電体製超絶縁体の開発テクノロジーが既に提案されている。この超絶縁体は、厚さ100ミクロンでも、数センチメートルの厚さの最良の固体誘電体がやっと耐えられるほどの直流電圧に耐えられるはずだ！

そう、言うまでもなく、直流電圧だ！固体誘電体の電氣的破壊について語るとき、我々が念頭においているのは他ならぬ直流破壊電圧のほうだ。交流電圧の場合には、それで誘電体を破壊しようなんてしちゃいけない。誘電体は電荷不均衡の波を使って交流を非常に良く伝導するからだ。それだけではない。誘電体は交流を金属よりも良く伝導する。誘電体中では自由電子がしつこくつきまとうことがなく、したがってジュール熱への損失がないからだ。十分に良質かつ高電圧の電圧を利用すれば、純粋の誘電体製導線によって「電気エネルギー」を送ることができる。この話が信じらぬ者は、調べてみるがいい！

さて今度は、もう1つの驚くべき分野——半導体に関する学説——にしばしの間没頭することにしよう。そこは完全な泥酔状態だ。重要なのは、半導体デバイスがそれでもちゃんと働いているということだ！理論家たちはどんなに苦心惨憺しても、いかにしてそのような結果が得られるのか、どうしても理解できずにいる。ところが彼らは、誰もその謎を解けないようにするため、強力な理論的難題——ありとあらゆる罨や落とし穴が仕掛けられている問題——を積み上げた。よそ者が口出しなどしたら、ひどく後悔することになるぜ。

それはいったいなぜだ？実験がこっそりヒントを与えている。つまり、束縛電荷であり続ける可動電荷を仮定すれば、半導体中で起こっていることは簡単に説明がつく。また、自由電荷だけを仮定した場合には、頹廢を増幅し、不条理にまで至らせることになってしまう。ああ、理論家たちはこのヒントにいかん感謝していることか！このヒントがなかったら、彼らは簡単な説明を受け入れるところまで落ちぶれていたかもしれない！それは科学全体に対する面汚しになっていたかもしれない……^{〔訳注〕}。

要するに、理論家たちは、半導体中において電気を移動させることができるのは自由な電荷担体のみであると頭に刻み込んだのだ。金属を相手とした場合には、自由電子に関す

〔訳注〕 これは理論家たちが、このヒントのうち「自由電荷だけを仮定した場合」の路線を選択したことに対する反語的な皮肉である。

るバラードだけで完全にやりくりすることができた。ところが、半導体を相手とした場合には、バラード備蓄の不足分を補給しなければならなくなった。そのすべては、自分の名前がついている効果を何かの拍子に発見した E. ホールのせいだった。よろしいか。試験片を通る電流の方向は外部の電位差によって決定される。電流が負の担体によって創出されている場合、その担体は、横方向の磁場中において、電流が正の担体によって創出されている場合にその担体が持って行かれるのと同じ側の試験片側面に向かって持って行かれる。それゆえ、ホールの電位差は、卓越している方の担体の電荷の符号について一義的に語っているのである。そして、各種の半導体材料のたっぷり半分において、正電気の担体が卓越していることが判明したのであった。バッキャロー！

理論家たちは、正電荷の自由担体とはいったい何なのか、考えに考え抜いたが、どうしても何にも思いつけなかった。しかし、彼らはお体裁のためにその担体を「正孔」と名づけ、電子-正孔伝導理論の開発に取りかかった。我々はこの理論に尋ねよう。それでもやっぱり、「正孔」とは何なのか？ 歌え、愛する者よ、恥ずかしがらずに！ すると、理論が遠回しな言い回しでこう歌い始めた。「あたし、最初は黙っていたかったんだ。でもそのあと、こんな結論に達したの……」。この理論の精神状態のゆがみについての話は省略して手短かに言えば、その結論は最初からこうだった。正孔とは、結晶格子の原子中における外部電子の欠如である。魅惑的だ！ 正孔嬢の姿を見たとき、隣接原子中の電子君のお目々が燃え上がり、彼は助走もなしに彼女の中へ「軽々と跳び移る」——それまでその原子の中に彼を引き留めていたのが結合エネルギー嬢だったことをすっかり忘れて。うん、これは人間たちとまったく同じだ！ 電子君たちも「俺たち、どこかある所じゃ、時には」^{〔訳注〕} 気高い倫理感を屁とも思わなくなるんだね。そのような不品行の連鎖の結果（悪い手本は伝染するものだ）、正孔は外「場」に従って原子から原子へと移動し、試験片全体を回遊する性質を持っている。筋道が立ってるって？ とんでもない！ 第1に、ここではどっちみち電子が運動することになる——ただし、あたかも正電荷がそれと逆方向に運動しているかのような仕方だ。なにしろ、ホールの方法論は、一発足蹴りを入れるだけで、「あたかも…かのような」、「まるで…のように」といった類の推論を方々に散らかすことができるのだ。ホールの方法論においては、ある符号の電流はいかにしても別の符号の電気の逆電流に帰着することはない。第2に、自由担体、あんたらの言う「正孔」とは、それらが原理的に原子中に局在化しているのだとすると、いったいいかなるものなのか？ 理論は歌い続ける。「そのあと、あたし、全部を見直してみたの。そして、別の結論をくださったの……」。要するに、鱗と皮をもう一度取り去って見たら、正孔とは、エネルギーバンド中における電子によって占有されていない状態であったというのだ。おや、なんたることだ！ 第1に、そのような正孔がどこに存在しているかについて語ることは無意味である。なぜなら、エネルギーバンドは結晶全体の中で「働いて」おり、エネルギーバンドの中における状態も同様であるからである。第2に、自由量子状態は電荷を持っていない。電気が無電荷のものによっていかにして運ばれるかについて、また無電荷のものの局在化や運動について語ることは無意味である。それを理解できるのは偉大な理論家たちだけだ。もっと正確に言え

〔訳注〕 「俺たち、どこかある所じゃ、時には」はソ連時代に放映された軍隊を舞台とするテレビドラマシリーズの主題歌の一節。この歌は <https://www.youtube.com/watch?v=Zqe6Rqu4jtg> で視聴することができる。

ば、彼らは理解しているふりをしているにすぎないのだが。そんなおじさんたちがどれだけ強く頬っぺたを膨らますかには関わりなく、半導体デバイスはちゃんと働いている。

ここで理論家たちが腹を立てる。そして「正孔には質量さえあることを実験は示しているのだ。お前らはまさか、サイクロトロン共鳴について聞いたことがないのか？」とのたまう。おあいにくさま！ 我々の田舎じゃ、サイクロトロン共鳴についてこんな民謡が歌われているんだ。

見ろや、磁場の中で輪舞を踊っているのは

正孔娘たちだんべ？

あばずれ女たちめ、チャンスを手に入れたぞ——

サイクロトロン共鳴を！

我々の民謡——それは、民衆の英知の一断面に他ならない。ついでにコライダー（衝突型加速器）についての民謡も聞いてみたい？ 実は、この民謡の歌詞のほとんどの部分にはピー音（自主規制音）をかぶせなきゃいけないくて、そうすると4つの単語しか残らなくなってしまうんだ……^{〔訳注*〕}。まあ、いいでしょう、それは別の機会にとということにしよう。さて、あんたらの正孔に話を戻して、そこではサイクロトロン共鳴が何を「示している」かについて検討しよう。確かに、サイクロトロンの磁場中において、自由荷電粒子は磁束密度ベクトルに対して直角な円を描きながら運動している。自由荷電粒子はその円をサイクロトロン振動数で描いているわけだが、この振動数に関する表式には粒子の質量が含まれている。我々はなんてラッキーなんだろう。サイクロトロン振動数を知れば、粒子の質量を知ることができるのだ！ その振動数は超高周波の共鳴吸収帯にある。さてそこで、磁「場」の中に固体誘電体を置くと、誘電体中で自由電子と正孔たちがまるで真空中におけるかのように輪舞を踊り始めると考える。いわく、わっ、穴があったら入りたい、超高周波の共鳴吸収のピークが具体的に観測される！ ただし、それらのピークにはちょっと奇妙なところがある。それらは電子と正孔について1個のピークではなく、多数のピークの組み合わせに従って得られるのである。電子と正孔を質量区分別に分類しなければならなくなった——まるでボクサーのように。こんな感じで——こいつはライトフライ級の質量を持った正孔！ こっちのやつはライトウェルター級の正孔！ この正孔はスーパーヘビー級！ しかしなにしろ、注意深く観察すると、実験はもっと多くのことを「示している」のだ。磁束密度ベクトルに対して試験片を回転させると、超高周波共鳴吸収のピークがシフトし、正孔のそれらの様々な毛色の質量すべてが浮動的になることが判明したのである。理論家たちはこれを知って名状しがたい恍惚境に入り、半導体中における自由電子と正孔の質量はテンソル量であるという結論をくださった。リスさん、ウサギさん、それが意味しているのは、1個の正孔の同じライトウェルター級の質量は、ある1つの値を取るのではなくて、方向——運動の方向でも力の作用の方向でもなく、単なる方向——に依存するということなんだよ。わからないって？ 今度はブラチーノ^{〔訳注**〕}があんたらに説明してあげ

〔訳注*〕 ロシアのテレビ・ラジオにおいて完全に規制されている放送禁止用語は4語とされている。つまり、残った4つの単語も放送禁止用語ということ。ついでに言うると日本の放送禁止用語は"WTC7"の4文字。

〔訳注**〕 「ブラチーノ」はソ連の小説家アレクセイ・ニコラエヴィッチ・トルストイが『ピノッキオの冒険』を翻案して書いた物語『金の鍵あるいはブラチーノの冒険』の主人公の名前。この物語はアニメ化されており、邦訳も出版されている。

る。マリヴィナが彼に算数を教えてあげる場面、覚えてる？「あなたのポケットに、リンゴが2つ……」するとブラチーノが答えた。「ウソだーい！ あはは！ 僕のポケットに入ってるのはね、北を向いたらリンゴが1つ、東を向いたら3つ、上を向いたら、ありゃりゃ、3つと半分！」マリヴィナは叫んだ。「まあ！ ……アルテモン、アルテモン、ちょっと来て！ このいけすかない坊やを物置部屋に閉じ込めてちょうだい！」

高度科学よ、彼女から何を学び取るべきか……。自由電子が誘電体結晶中で8の字を描くことなどできないことは、「大学を卒業していない」子供にもわかる！ でもほら、電荷不均衡ならできるのだ。しかも、正と負の両方の電荷不均衡が。磁「場」の条件下で、それらは閉じた原子鎖に沿って自らを移動させていく。原子が結晶格子を形成している場合には、その移動の連鎖は離散的な長さを持っている。しかも、その長さは磁束密度ベクトルに対する結晶の配向に依存しており、その連鎖に沿ったしかるべき捻り-回転数を持っている。はい、これで超高周波共鳴吸収の浮動ピークの組み合わせの出来上がり。だからテンソル質量で思い悩む必要はないのだ。美しい！

確かに、ある者には美があり、ある者には無知がある。試験片が負のホール電位差を示した場合には、そこでは自由電子が卓越しており、負の電位差の場合には「自由正孔」が卓越しているとみなされている。前者の場合は「n型半導体」、後者の場合は「p型半導体」と呼ばれる。よく知られているように、半導体の電気伝導率は温度の昇とともに増大する。「それは自由担体がより多くなるからだ」と理論家たちは説明する。受けたばかりの苦しみは、簡単には癒えぬものだ！ 試験片中における原子の熱電離の嘘偽りのない割合は、純粋な半導体の電気伝導がもたらすはずの割合より1桁小さいのだ。またも高度科学の方法に助けを求めなければならなくなった。理論家たちは、半導体を形成している原子の電離エネルギーは、自由状態にある原子のそれより1桁小さいと我々に信じさせようとしている。そういう思考の進み方は理解できる。でもねえ、おじさんたちよ、あんたらの考え方じゃ、半導体結晶が個別原子から形成される際、原子内の最外殻電子自体のほぼすべての結合エネルギー——1原子当たり数電子ボルトのエネルギー——が跡形もなく消滅するという結果が得られてしまう。それは例えば、爆轟の際のエネルギー変換よりもはるかに大きい。なのに、半導体結晶が形成される際にびっくりして身震いする奴など、誰もいないぜ！

純粋な半導体をめぐる話、それはさらなるたわ言、ちょっとした考え違いだ。「大人のやり方」じゃ、すべてはドーピングした半導体から始まる。半導体のドーピングに用いられる不純物——うへえ、彼らは何てすごいんだろう！ 彼らは試験片の電気伝導率を抜本的に増大させるのだ！ 彼らはどうやってそれをやるのか？ 最初に目に入ってきた半導体に関する教科書を手にとってみたまえ。すると、その本の必要とされるページがひとりでに開く。次のように書いてある。すなわち、こうやってだ。4価原子からなる材料を5価原子でドーピングした場合、5価原子は結晶格子に入り込み、その価電子のうち4個ずつだけを発動させる。残った5番目の価電子は、「簡単に引き剥がして」自由担体にすることができる。いわく、はい、n型の伝導率の増大の出来上がり。ストップ！ その価電子が「簡単に引き剥がされた」後、原子中に正孔が残るではないか！ はたして、その正孔はp型の伝導率に寄与を与えないのだろうか？ 新たな自由電子は「遊ぶ」けど、新たな正孔は「遊ばない」なんて、それはまるで、公園にいる子供らみたいではないか？ おお、神よ、その先を読も

う。4 価原子からなるそれと同じ材料を 3 価原子でドーピングした場合、3 価原子は結晶格子に入り込み、そのすべての価電子を発動させる。しかしその際、隣接原子との間で 4 つの結合を形成するためには、3 価原子は 1 個ずつの電子が不足している。いわく、ほら、まさにこのとき、準備完了状態の正孔が p 型の伝導率の急激な増大を与えるのだ。ストップ！すべての電子が原子中にあり、電離している原子が 1 個もないのだとしたら、その「正孔」とは、いったいいかなるものなのか？ その不純物伝導というコンセプトは、誰を当てにしているのか？ あんたらはばあさんがたを当てにしているんじゃないの？ アカデミー会員たちは平静をよそおってこう反論する。「このコンセプトは実験によって確実に裏づけられている。シリコンやゲルマニウムを 5 価元素でドーピングすると n 型の伝導率が急激に増大し、3 価元素でドーピングすると p 型の伝導率が急激に増大するのだ！」。おやおや。シリコンやらゲルマニウムといったアノマリーがこの世に存在するとは、あんたらはラッキーだったね。それらの元素に関しては、すべては教科書に書いてあるとおりの結果が得られる。ところで、あんたらはこの件の完全な描像は知っているのかな？ アクセプター原子より大きい原子価を持つ不純物は n 型の伝導率を、またそれより小さい原子価を持つ不純物は p 型の伝導率を与えるなどという規則を我々に吹き込むのは、よろしくないぜ。様々な事例のうち、ゆうに半分の事例では、その規則は生意気にも、ちっとも働いてくれないのだ！

それはなぜなのか、ご存じか？ 半導体の電気伝導にとっては、その原子をより大きい原子価でドーピングしようが、より小さい原子価でドーピングしようが、まったく変わりはないのだ。結果は同一である。すなわち、自由原子価が確実に存在することである。そして、その自由原子価がいかなる原子にあるか——不純物の原子か、あるいは主要原子か——は重要なことではない。重要なのは、自由原子価の総数である。自由原子価が大きければ大きいほど、電気伝導はより良好になる。正孔伝導についてはむしろ忘れたほうがいい。自然界に正孔伝導は存在しないからである。しかも、それはまったく不必要である。信じられない？ では、ホウ素またはインジウムでドーピングされたシリコン試験片——非常に大きな p 型伝導率を持っているもの——を取り上げてみたまえ。それが正孔を持っていないなんて、あり得ないって言うんだろ？ 次に、その試験片に直流電圧を印加してみたまえ。そこを流れる電流は金属を流れる電流ほど強くないが、それでもやっぱり流れる。今度は、印加する電圧の極性を変えてみたまえ。再び試験片を同一の電流——ただし逆方向の——が流れる。さてここで、ちょっと考えてほしい。君の回路の中の金属導線に沿って運動しているのは電子のみだ。これは正しいよね？ そして閉回路の任意の横断面を通る直流の力も同一だ。違うかい？ 単位時間に君の p 型試験片に入って来ると同じ個数の電子がそこから出て行く。つまり、この場合、まさに p 型試験片においても電子伝導なのである。さらにどんな伝導が存在しているのか？ すべては同じモード——自由電子と束縛電子の間における「人員ローテーション」モードなのだ！

それでもやはり、半導体の電気伝導率が誘電体（破壊されていないもの）より高く、しかし金属より低い理由について話す必要がある。問題の核心は、まさに半導体の自由原子価数——誘電体より大きく、金属より小さい——にある。こんな疑問がわいてくる。不純物を含まない半導体の規則正しい結晶格子において、自由原子価はどこから出てくるのか？ 答えはこうだ。そこでの化学結合は完全に定常的というわけではなく、純粋にソフト

ウェアに従い、強制的な仕方で順番に切断されるのだ！ このプロセスの循環性により、原子価が自由原子価であり続ける平均時間が意味を持つ。このことから、半導体には光吸収帯が存在するという結論がただちに導き出される！ p型試験片の場合でさえ、その光吸収帯に相当する照射がなされると、外来電子にとって試験片の抵抗は急激に減少する。フォトレジスターはこうして機能しているのである。すべては、励起された自由原子価が電子の「人員ローテーション」によって相対的により機敏に制御され、そのため、励起された自由原子価にとって試験片の電流容量が増大することに理由がある。

さらにもう1つ秘密がある。半導体の場合には、原子の励起エネルギーが電荷不均衡のエネルギーに転換する可能性がプログラム(ソフトウェア)によって実現されているのだ！ ある元素の場合は負の電荷不均衡が得られるように、別の元素の場合は正の電荷不均衡が得られるように指令されているのである。実は、n型とp型の半導体が存在する理由はここにある。半導体ダイオード——化学結合を通じてきわめて密に接触し、それによってpn接合を形成しているp型とn型の試験片の対——の動作においては、正および負の電荷不均衡の形で移動する電気が枢要な役割を果たしているのである。

例えば交流の整流には、pn接合の性質、すなわち、順方向電圧(p型領域を「プラス」側に、n型領域を「マイナス」側に接続したときの電圧)の場合は電流を良く通過させ、逆方向電圧の場合は電流を良く通さないという性質が広く利用されている。ご覧いただきたい。順方向接続の場合、n型領域における負の電荷不均衡は「マイナス」側から移動する、つまり、pn接合部に向かって移動する。他方、p型領域における正の電荷は「プラス」側から移動する、つまり、やはりpn接合部に向かって移動する。その結果、pn接合部の領域においては、正と負の電荷不均衡が事実上、互いに打ち消し合っている。また、ダイオード材料中における「場」の強度は事実上、その両電極における電位差によって決定されている。その電位差をダイオード材料の抵抗で割れば、ダイオードを通る外来電子の流れの力が得られる。これに対し、逆方向接続の場合には描像はまったく別のものになる。今度はn型領域における負の電荷不均衡は正電極に向かって移動し、p型領域における正の電荷は負電極に向かって移動する。電極近傍領域に集中したそれらは、外部電圧源によって創出されるダイオード材料中の「場」の強度を弱体化させる。ダイオード材料の抵抗は前と同じままであるが、電圧は順方向接続の場合よりも低くなる。それゆえ、この場合にはダイオードを通る電流も小さくなる。笑いたくなるほど単純な話だ。

もっと笑いたくなる話だが、pn接合半導体ダイオードは太陽電池として働く。このダイオードは光を照射され、光が光吸収帯に当たると、閉回路中で弱い直流を維持できるほどの起電力を生み出す。ここでの電流もやはり、p型領域に入り、n型領域から出て行く外部電子の流れである。どうやってそれが得られるのか？ アカデミー会員たちは、光は魔法のような性質を持っていると考えている。つまり、光はp型領域とn型領域に作用し、それらの領域中で「自由担体」の数を増加させるというのだ。いわく、光によってn型領域では自由電子の数が増加し、p型領域では「自由正孔」の数が増加するのだ。電氣的に中性な塊の中で、どうやってそんなことが得られるのかについては、彼らに尋ねないほうがいい。彼らがあっさりきて、泣き出したらいけないからね。でもどっちみち、そんな説明では電流は得られない。p型領域に隣接する外部回路区間の自由電子は、もちろんp型領域に突き進もうとする。しかしp型領域には、n型領域の自由電子も突き進もうとする。光

ダイオード中で対向方向に流れる電流——それは、我々が必要とするものではない。光ダイオードが電子を移送するポンプとして働くためには、何らかの力が p 型領域と n 型領域の両方において電子を同じ側に動かさなければならない。問題は、その力がどこから生じるかだ。光が光吸収帯から生み出すものは電気の自由担体ではなく、電荷不均衡——p 型領域における正の電荷不均衡と n 型領域における負の電荷不均衡——なのである。それらの電荷不均衡は互いに対向方向に移動し、pn 接合部の領域で互いに中性化し合い、それらのエネルギーは別の形態（例えば熱）に転換する。ここで注意。光ダイオード中の自由電子は、可能な限り、その電荷不均衡の流れを補償するように運動しなければならない。すなわち、自由電子は p 型領域においては正の電荷不均衡と同じ方向に、n 型領域においては負の電荷不均衡と反対の方向に運動しなければならない。照射されている光ダイオードを通過する自由電子の運動は、まさにこうして得られるのだ！

さて、光電子をめぐる冗談話をもう 1 つ。半導体レーザーの動作の話だ。pn 接合ダイオードを流れる順電流が閾値を超えると、pn 接合部は光吸収帯から様々な波長の光を放射する。この奇跡、ただしちょっと滑稽な奇跡をどう説明すべきか、理論家たちは長い間考えた。その結果、成功が訪れた。いわく、ここでの光は電子と正孔の放射性再結合の結果生まれるのだ。これは科学用語での言い方だ。簡単に言えば、自由電子が正孔の中にどぼんと落ち込んで、束縛電子になるということだ。その際、正イオンと電子の再結合の際と同様に、本当に光が放射されるのだとか言われている。でも失礼ながら、光がそのようにして発生した場合、電気の自由担体の数は減少するはずだ！では、回路内で直流が維持されるためには、減少分の代わりとなる新たな自由担体はどこから生じるのか?! なにしる、電流源は回路に次から次へと新たな電子を注入しているわけではなく、陽極から陰極へ電子を移送しているにすぎないのだ。うーん、これは問題だ……。それとあと 1 つ、指摘させてもらいたい。「電子と正孔の再結合」が可能なのは pn 接合部においてのみであって、p 型領域の体積全体中においてではない。ああ、これは困った、p 型領域内の「正孔」はまるで何か偽物みたいだ。なぜなら、光を発するのは pn 接合部だけだからである。しかもそもそも、p 型担体に電流を通してみたまえ。つまり、電子がそこですべての正孔を徹底的に再結合するようにさせるのだ。そうそう、光が現われる！しかし、駄目だ、ここでは電子にとって、完全なる幸福を得るためには pn 接合が不足している。pn 接合がなければ、何にも得られない。悲しいねえ、おじさんたち……。

ところで、我々はもう一度、電荷不均衡を思い出しちゃいけないの？ もちろん、いいとも。強い順電流の場合、外部電子は半導体ダイオードの材料をやっとこさ通り抜け、そのとき、原子を衝撃によって励起させる。その衝撃エネルギーは、p 型領域においては正の電荷不均衡のエネルギーに転換し、n 型領域においては負の電荷不均衡のエネルギーに転換する。これらの転換は、光吸収帯に相当する励起エネルギーの場合に特に効率的である。その先は次のような結果となる。それらの電荷不均衡は印加された順電圧に従い、pn 接合部に移動する。そしてその一部の原子は、簡単な言い方をすれば「どっちつかずの状態」と名づけられる状態となる。すなわち、p 型領域の側では、原子内「陽子-電子」結合のうちの 1 つにおいて正の電荷不均衡が現われ、n 型領域の側では、別の原子内「陽子-電子」結合のうちの 1 つにおいて負の電荷不均衡が現われるという状態である。これは無秩序状態である。この状態は迅速に是正される。すなわち、それらの正負の電荷不均衡のエネル

ギーの放出が、それが光エネルギーに転換することを通じて行われるのである。共振器が得られるようにするために結晶の2つの側面を研磨すると、光は普通の光ではなく、レーザー光となる。きわめて単純な話だ！

以上の話もまた半導体中における直流電流に関する話であり、そこでは外部電子の移動が顕著な役割を演じている。交流電圧の場合には、半導体中における電気の移動は、ある周波数以降においては、電荷不均衡だけによって実現される。研究者たちはこのことに気づかぬまま、自由担体は間違いじみた移動度を持っているという結論を下すに至っている。理論家たちはその間違いじみた移動度について説明しようとする、息が止まりそうになる。つまり、トンネル効果について歌うべきか、それとも超伝導について歌うべきか、選択に苦しまねばならなくなるのだ。一方のバージョンは他方より簡単だ！ でも一方のバージョンのほうが他方より科学性が高い！

それに対して、我々のやり方はすべてが田舎風だ。電荷不均衡がやらかすことを考慮に入れれば、束縛電荷が存在するあらゆる場面において、その電磁現象は無作法なほどまでに簡単明瞭になる。ついでに言うと、例えば空気中における電波——それは、原子中における電荷不均衡の波に他ならない。原子と原子の間の空間においては、電波らしいものはまったく存在しないのである！ もしかしたら、我々はとうとう完全に気が狂ってしまったのではないかと思っている人がいるのではないかな？ いや、我々はそれほど気が狂っているわけではない——「電波は伝播するとき、誘起電気双極子の振動、また既に形成されている双極子を持つ分子の再配向を引き起こす」などと我々に教えている者たちと比べれば。そんなことが可能なのは、電波の周波数が空気中における分子の平均衝突周波数を上回っている場合であるはずだ。さもなければ、その衝突により、分子双極子は電波周波数における振動の1周期の間すら働くことができないはずであり、したがって空気媒質は電波に対して応答を与えないはずである。しかし、低周波の電波の場合でも空気媒質の応答が存在することは言うまでもない——その電波の速度は空気媒質の温度、圧力および湿度にも依存しているのだから。すなわち、電波が空気媒質中において分子双極子の振動を通じて自らを発現するなどということは、まったくないのだ。

空気中に孤立した球があり、その電荷がある電波周波数で正弦曲線に従って変動しているとすると、次のことが起こるはずである。球の変動電荷は、周囲空気の物質中において変動電荷不均衡を誘導するはずであるが、その変動電荷不均衡は若干の遅れを伴って成立するはずである。そのタイムラグは、電荷不均衡を制御しているアルゴリズムの作動速度によって決定されているはずである。その結果、この奇跡の球が働いている間、そこから空気中における交番電荷不均衡の波が広がるはずである。これこそが電波なのだろう。なお、電波の中で伝播方向に対して横方向に揺れ動くものは何もないのだから、電波は決して横波ではない。

我々のこの見方に対し、現実の電波はまさに横波なのだと反論する者がある。彼らは電波の偏極現象を挙げ、この現象が、電波が横波であることを証明していると主張する。それは間違いだ。電波の偏極現象は、現実の電波源が変動電荷を持つ孤立球とは原理的に異なっていることに起因しているのだ。現実の電波源においては、この件は電流を抜きにして論じることはできない。例えば垂直ロッドアンテナの場合、電波発生器がそれに沿って電気の塊を上下方向に追い立てている。周囲空気中においては、電荷不均衡の移動は垂直

成分しか持たない。垂直ロッドアンテナは垂直成分に対して応答することができるが、水平ロッドアンテナは応答することができない。これが「偏極現象」のすべてなのである。この現象は、電波が横波であることも、また、電波が物質中における諸過程に帰着させ得ない独立した本質を持っていることも証明してはいない。ちなみに、電荷不均衡が振動したり移動したりしても、物質の振動や移動は生じない。それゆえ、電荷不均衡にとっては、分子の衝突はまったく無関係のどうでもよいことなのだ。電波の場合、空気媒質の応答に対する周波数閾値が存在しない理由はまさにここにある。

そしてさらに、光の伝播の場合と同様、電波、すなわち電荷不均衡の波の伝播の場合にも、空間中におけるエネルギーの移動は生じていない。生じているのは物質中における各種形態のエネルギーの再分布のみである——例えば、原子内電子の結合エネルギーが電荷不均衡のエネルギーに転換する、あるいはその逆方向の転換が生じるといったように。そのすべては物理法則、すなわちプログラムによる指令に従っている。電波がエネルギーを運んでいないなんて信じられない、そう思っているのではないか？ それは理解できる。アンテナの周囲の空間中における自由電荷はアンテナがエネルギーを放射することによって走り始める、そのエネルギーは発生器が与える、発生器はそのエネルギーを電力網から取る、——そしてこれは若干の者にとっては特に説得力のある話なのだが——その際、それに対して電力料金を支払わなければならないという幻想は、あまりにも強固なのだ。しかし、物理学がこれからもその種の幻想にしがみつき続ける限り、学生の間で古くから言い伝えられている次の冗談話が現実的な話であり続けることであろう。

「電荷とは何かね？」と試験官が尋ねた。

学生は口もごりながら、「僕、知っていたんですけど、忘れてしまいました」と答えた。

「ああ、それは科学にとって何たる損失であろうか！ それを知っていた唯一の人間が、忘れてしまったとは！……」

サイト「新たな物理学のためのスケッチ」(<http://newfiz.info/>)の資料による。