

J.J.トムソンの電子発見から101年

—— イギリスの記念シンポジウムから ——

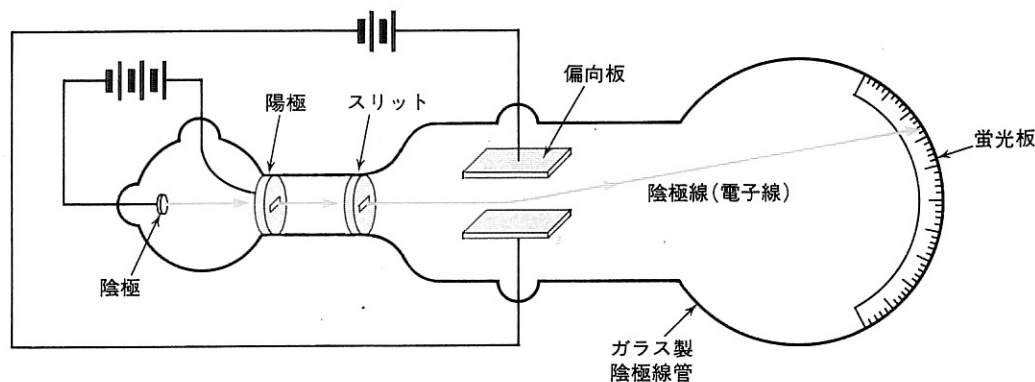
長谷川修司

いまから101年前の1897年4月30日夕刻、イギリス王立研究所で行われた金曜講話で、キャベンディッシュ研究所教授のJ.J.トムソン(J.J. Thomson)が“陰極線”について講演した。陰極線に代表される真空放電現象は、当時もっともホットな研究テーマであった。というのも、希薄気体に高電圧を印加したときに出るあの神秘的で美しい発光の魅力もさることながら(夜の巻のネオンサインを思い出してほしい)、2年前の1895年にドイツの物理学者レントゲン(W.C. Röntgen)が、陰極線の研究中に“X線”を発見して一大センセーションを巻き起こしたことに起因していた。J.J.トムソンの研究は、電気の本質そのものを探ったもので、陰極線が物質の断片、つまり今日“電子”として知られている小さな粒子の流れであることを明らかにした。しかも、その“電子”は、いろいろな化学元素を構成している共通の

物質片(corpuscles)であると結論するものであった。この研究は、同年に出版された“Cathode Rays”というタイトルの論文¹⁾に詳述されており、現在ではこれをもって“電子の発見”とされている(彼自身は“電子”という言葉を使わなかったが)。

この“発見”は、その当時、拍手喝采で受け入れられたかという、まったくそうではなかった。金曜講話の聴衆は誰一人として私を信じていなかったようだ、とトムソン自身が回想している。当時、あらゆる物質を構成する根源粒子は“原子”であると信じられていたので、原子よりさらに小さくて軽い物質粒子の存在などとても信じられなかったのは無理もないことだった。実際、1897年の彼の実験<図1>からは、原子の中にある小さな粒子の存在を証拠だてるものは何もなかった。彼の鋭い洞察力だけで“電子”の存在を結論づけたのであった(仮にいま、彼

の研究を『Physical Review Letters』や『Nature』に投稿したならば、“highly speculative”という理由で掲載を拒否されたかもしれない)。実際、同時期にベルリン物理学研究所のカウフマン(W. Kaufman)は、トムソンと同様の装置で電場による陰極線の偏向実験を行なって比電荷を測定し、トムソンの値よりずっと精度の高い結果を得ていたにもかかわらず、原子よりも小さい“電子”を発見したなどとは主張しなかった。なぜなら、当時のドイツ・オーストリアの物理学会はマッハ(E. Mach)の影響下にあり、「直接観測できない原子のような仮想的存在に関係するものは非科学的である」²⁾とされていたので、原子よりもさらに小さい物質粒子が存在するなどとは、とても言い出せなかったのである。1906年にJ.J.トムソンはノーベル物理学賞を受賞しているが、その授賞理由は「気体の電気伝導に関する理論



<図1> J.J.トムソンが使った真空放電管の模式図

陰極線を電場または磁場で偏向させて、電子の比電荷(=電荷/質量)を求めた。比電荷の値だけからでは、電子の質量そのものは決められない。トムソンは、当時すでに知られていた水素イオン(つまり陽子)の比電荷と、トムソン自身が測定した電子の比電荷を比較し、電子の比電荷の方が約千倍も大きいことに気づいた。両者の電荷はおそらく同じ程度の量と考えるのが自然で、そうすると電子の質量は水素イオンの質量の千分の1程度になると推論した。水素原子は原子の中でもっとも軽い原子で、根源粒子の中の根源粒子と考えられていたので、それよりも千分の1も軽い物質粒子が陰極線だという結論になる。

	電子	比	トップクォーク
研究者数	5人以下	約200	約450人×2グループ
費用	約10万ドル	約1000	約1億ドル
質量	0.5MeV	約350000	175GeV
有用性	年間約1兆ドル	0	ほとんど0

「実験的研究」というもので、希薄気体中に陰極線を通したときの電離現象を系統的に調べた成果が評価されたのであって、「電子の発見」が理由ではなかった。

〈図1〉に示す実験、つまり、電場または磁場によって陰極線(電子線)を偏向させて電子の比電荷を測定するという実験は、いまではどの高校物理の教科書にも載っていることで(しかし、実際に実験で演示している高校はほとんどないと思うが)、大学入試問題としても人気が高く、毎年必ずどこかの大学で出題されるほどである。しかし、これが1世紀も前にトムソンが電子の発見のために実際にやった実験だったとはまったく知らずに私は高校を卒業し、大学の物理学科を卒業し、さらに、その後15年間も電子線を使った研究を続けていた。この史実を知ったのは、恥ずかしながらかく最近のことで、講義のために文献²⁾を読んだとき、まさに電子発見後98年目であった！ 学生におもしろおかしく歴史を話して聞かせるために、少しその当時の史実を勉強して意識が高まっていたところに、電子発見100年目を記念する国際シンポジウムの案内が舞い込んできた。そこで意を決して、わざわざケンブリッジまで出かけていった(自分自身の研究のポスター発表は、そのための口実にすぎなかった!?)。

このシンポジウム“International Centennial Symposium on the Electron”³⁾は、日本の科学技術新興事業団とケンブリッジ大学の共催で、イギリス・ケンブリッジ市のチャーチルカレッジで1997年9月15日から17日まで開催された。250名程度の参加

者ほぼ全員がカレッジの宿舎に宿泊し(江崎玲於奈先生ご夫妻でさえ、専用トイレのない部屋に宿泊されたそうです)、1日3食をともにしたので、思いがけない交流があちこちで見られた。

受け付けデスクで登録を済ませると、講演要旨集のほかに、十数個のキャンディーが入った黒い布袋と置時計、そして分厚い本1冊⁴⁾が記念品として手渡された。J.J.トムソンの伝記⁴⁾をプレゼントされるのは理解できるが、キャンディーと置時計は何の意味なのか？と誰もがいぶかしがった。しかし、このキャンディーはなかなかの傑作で、金太郎飴構造になっている。中に“ELECTRON”という文字が刻み込まれていて、しかも美味だった。シンポジウムの開会式の冒頭、主催者の1人であるケンブリッジ大学のハンフリー(C.J.Humphrey)教授がこの3つのプレゼントの意味を説明した；“The candy symbolizes science is fun. The clock symbolizes science is useful. And the book symbolizes science is serious.”

電子発見100年を祝うシンポジウムに相応しいウイットで幕を開けたわけで、その後が続いた講演もそれぞれ違った意味で楽しめた。ちなみに、いただいた置時計はグリニッジ標準時で動いていて、日本時間に変更できないものだった！(時間を変更するつまみがどこかに付いているはずだと探したが発見できず、記念だから、ということで諦めて、いまま私のデスクの上で英国時間を刻んでいます。あまりusefulではないが――)。

トップバッターの講演者は、ミュンヘンニュートリノの発見でノーベル物理学

〈表1〉 電子の発見とトップクォークの発見を比べる

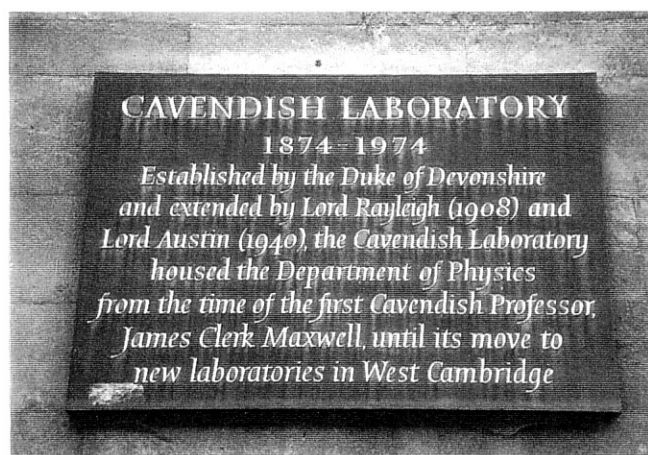
レーダーマン教授の講演から。

賞を受賞しているフェルミ研究所のレーダーマン(L. Lederman)教授で、“The electron as the first fundamental particle”と題して、巧みな話術で聴衆を引き付けた。その中で、電子発見から1世紀後(1994/1995年)に発見された最後の素粒子“トップクォーク”と、最初の素粒子“電子”を比較した一覧表〈表1〉を示した。それによると、電子はJ.J.トムソン以下5人程度の研究者(熟練ガラス工も含む)の協力によって発見されたが、トップクォークはフェルミ研究所内の450人規模のグループ2つ、のべ約900人の研究者が協力してはじめて発見にこぎつけたという。その人数比は約200倍。実験にかかった費用は、電子発見の場合、現代の金額に換算しておよそ10万ドルなのに対して、トップクォーク発見には1億ドル程度のコストがかかっているそうで、その比は約1000倍。粒子の質量は、電子の0.5MeVに対して、トップクォークの175GeVで、その比は約350000倍。そして最後に落ちがくるわけで、それは両者の“有用性(Utility)”の比較。電子は全世界で年間1兆ドル程度の産業を生み出しているが、トップクォークはいまのところ有用性ほとんどゼロ(“approximately zero”)であり、その比はゼロである、とレーダーマン教授が言った途端に会場が大爆笑となった(爆笑の中、聴衆のだれかが“No, it's negative!”と言ったように思ったが、気のせいかもしれない)。とにかく、現代物理学の一面を象徴するおもしろい比較表であった。J.J.トムソンの時代は、熟練ガラス工や金工職人が近くにいれば、ちょっとした装置で歴史に名を残す実験が可能だったわけで(もちろん誰でもが名を残せるわ

けではないが), 生まれてくるのが100年遅かった, と悔しがるのは私だけではないだろう。

あのジョセフソン効果を発見したジョセフソン教授(B. Josephson, ケンブリッジ大学)の講演も興味深かった。自宅から自転車かバイクで駆けつけたようで, ヘルメットをもって会場に現われた。そのメットを自分の椅子の下に置いて, 演壇に登っていった。伝説の人ジョセフソン教授を実際に見るのは初めてだったので, 多少ワクワクしながら講演を拝聴したが, 超伝導に関する講演は久しぶりのようで, 昔のことを思い出しながらゆっくりと話し始め, どの教科書にも書いてあるおなじみの式をOHPのトランスペアレンシーにその場で手書きしながら説明しただけで, ちょっと拍子抜けした。彼は, 現在, Mind-Matter Unification Projectなるものを主催しているとのことで, 講演の最後の1分間だけをその研究の紹介にあてた。彼としては, いまやっている研究を話したかったようだが, シンポジウムの主旨から超伝導の話に限ったようだ。彼の最近の研究は文献5に紹介されている。

電子発見を記念するシンポジウムなので, 素粒子物理, 電子物性, 電子顕微鏡, エレクトロニクス, 生物物理など, バリエティーに富んだ講演が続いたが, 電子が関与する科学分野をすべて網羅することなどとうていできる話ではないので, 初めからそれは意図しなかったとハンフリー教授が説明していた。そんなわけで, J.J.トムソンにちなんで, 特に電子線を使った科学, つまりおもに電子顕微鏡に関する講演が, 質, 量ともに目立った。ケンブリッジ大学は, J.J.トムソンとその息子



G.P.トムソン(電子回折による電子の波動性の実証で, 1937年ノーベル物理学賞を受賞)以来, 電子顕微鏡のメッカで, 生物・非生物系を問わず複数のノーベル賞受賞者を含む有名なElectron Microscopistsを多数輩出している。しかし, 電子顕微鏡といえば日本のお家芸でもあり, このシンポジウムの日本側主催者である高柳邦夫先生(東京工業大学)のほか, 外村彰先生

〈図2〉 旧キャベンディッシュ研究所とその看板 (著者撮影)

ケンブリッジ市の中心にあるが, 表通りから小道を少し入ったところにある目立たない建物。見つけ出すのに骨が折れたが, ガイド付きの市内観光ルートに入っているようだ。ラザフォードらが盛んに実験したので, この付近はいまでも放射能レベルが高いという噂がある? 中には, レイリーホールとマクスウェルホールという古めかしい階段教室があり, 当時を偲ばせる。

(日立製作所)や飯島澄男先生(日本電気)など日本を代表する Electron Microscopists がそれぞれ、微粒子・ナノワイヤーの表面、電子線ホログラフィー、カーボン・ナノチューブのテーマで個性豊かに講演された。顕微鏡屋さんのスライドやビデオは、芸術性を感じさせるほど美しいものが多く、それを見ただけでも飽きない。また、外村、飯島両先生は、イギリス王立研究所の金曜講話をされた数少ない日本人でもあり、その意味でもトムソンにつながっていることになる。

バンケットも楽しめた。参加者全員がカレッジの食堂の長テーブルにずらりと並び、はじめに「女王陛下に乾杯！」とやり、次に「Electronに乾杯！」と祝杯を上げて始まった。小さくて固い椅子に着席すると、日本式と違って主催者の挨拶も特になく、いきなりディナーが給仕され始めた。隣りの人と肘が触れ合うほど狭かったが、肋骨付きの羊肉の大きなかたまりと格闘した(狂牛病が騒がれていた時期だったので、羊でひと安心だった)。ご馳走に大満足してコーヒーが出てから、おもむろに挨拶が始まった。はじめに J. J. トムソンの孫、つまり G. P. トムソンの息子さんという初老の紳士が立ち上がり、J. J. の生い立ちやお爺さんとの思い出話、逸話など、堂々 40 分ものスピーチとなった。私は満腹のうえ、ワインの酔いがまわってほとんど夢うつつだったので、話の詳細は記憶にない(シンポジウム講演要旨集に、このスピーチのアブストラクトも載せておいてほしかった!)。そのあと、チャーチルカレッジのマスターのスピーチがあり、やはり 40 分程度続いたそうで、そのころ私はテーブルに頼

づえついて熟睡していた。あとで聞いたところ、このような場での 40 分程度のスピーチは、イギリスではめずらしくないそうで、そのために食事を先に済ませるとのことだ。

最終日の午後、チャーチルカレッジから車で 5 分ほどの新キャベンディッシュ研究所への見学ツアーがあった。新しい建物なので、旧キャベンディッシュ研究所<図2>に比べれば伝統の重さを感じさせない外観だが、展示室に陳列されている実物の実験器具は、栄光の歴史そのもので圧巻だった。<図1>に示した J. J. トムソンのガラス製真空放電管はもちろんのこと、同位体発見に使われたトムソンとアストン(F. W. Aston)の質量分析器、ラザフォード(E. Rutherford)の使った各種器具、ウィルソン(C. T. R. Wilson)の霧箱などなど、物理屋には垂涎ものばかりが並んでいた。

その後、参加者の多くは貸切バスに乗ってロンドンまで遠出し、科学博物館を訪れた。そこには膨大な科学技術に関する展示物があるそうで、とても 1 日では見学しきれないらしい。私たち一行は顕微鏡の展示フロアに案内され、フック(R. Hooke, バネの伸び縮みのフックの法則と同一人物)の複レンズ式光学顕微鏡をはじめ、電子顕微鏡の進化をたどる展示ブース、あるいは単一原子の観察に人類史上初めて成功したミュラー(Müller)の電界イオン顕微鏡、そして最近の走査トンネル顕微鏡(あるメーカーの製品)など、実物展示の迫力に驚かされた。イギリス人の収集癖は大英博物館を見ればわかるが、科学技術の歴史的器具や装置も大切に保存していることを知って関心した。科学を文化として守り育て、歴

史的発見・発明に使われた器具を文化遺産として後世に伝えるという、日本とはちょっと違った風土を感じた。

そういえば、シンポジウム会場前のロビーに、イギリスの小中学生が描いたポスターが数枚展示されていたことを思い出した。電子発見 100 年目をテーマにして、イギリス全国の小中学生を対象にポスターコンクールを行なったそうで、その入選作品が展示されていたのである。“Negative Charge Produces Positive Effects”といった気のきいたキャッチコピーのついた作品や、電子が自分たちの生活にどう入り込んでいるのか子供の視点で描いた作品など、なるほどと関心させられるものばかりだった。このような行事が、科学の伝統を守り育てる風土を培うことになるのかもしれない、と思ったりした。ノーベル賞級のすばらしい研究が出るには、研究費の増額だけではなく、伝統と風土・文化の醸造が必要なのかもしれない。わが日本でも、長岡半太郎の原子模型提唱 100 周年記念(2003 年)とか、菊池正士の電子回折発見 70 周年記念(去年)など、やろうと思えばネタには事欠かないと思うのだが――。

参考文献

- 1) J. J. Thomson: “Cathode Rays”, Proceedings of the Royal Institution 15, 419(1897); Philosophical Magazine 44, 293(1897); Nature 55, 453(1897).
- 2) スティーブン・ワインバーグ: 「電子と原子核の発見——20 世紀物理学を築いた人々——」本間三郎訳、日経サイエンス(1986)。
- 3) 高柳邦夫: 「電子発見 100 年: 過去・現在・未来——電子発見 100 年記念国際シンポジウム——」, 日本物理学会誌 53, 122(1998)。

4) P.F.Dahl: "Flash of the Cathode Rays—A History of J.J.Thomson's Electron—", IOP

Pub.(1997).

5) プライアン・ジョセフソン: 『科学は心霊現

象をいかにとらえるか』茂木健一郎・竹内薫
訳, 徳間書店 (1997).

第2版

流体力学ハンドブック

日本流体力学会 編 A5判・1330頁/本体22,000円

日本流体力学会創立30周年を記念し、初版以来10年ぶりの大改訂。流体力学のもつ裾野は広く、領域にいたっては深淵となるため、本書はその基礎原理を明確にし、最新の研究成果と知識の体系化を図った流体力学の一大成書として刊行。応用分野における技術者、研究者の方々に、その最新の情報を詳述。

- 特徴
- 新たに「渦」「波の力学」の章を設け、基礎的な記述と進歩の著しい非線形波動についてまとめる。
 - 進歩の著しい章は全面的に書き改め、その他の章にも最新の知見を盛り込む。
 - CGなどの進歩から、流体現象をわかりやすく伝える写真等も収める。

目次 基礎方程式/完全流体/粘性流体/圧縮性流体/渦/波の力学/流れの安定性と遷移/乱流/管路流/物体の抵抗/流れと熱伝達/流体機械に伴う流れ/流れと振動/流れと音/開水路流れ/海岸の波と流れ/密度成層流体/回転流体/地球流体(回転成層流体)/解離・電離・化学反応/希薄気体力学(分子気体力学)/電磁流体力学/非ニュートン流体/混相流/多孔性固体中の流れ/生物流体力学/環境と流れ/実験法・相似則/数値解析

丸善 [出版事業部] 〒103-8244 東京都中央区日本橋3-9-2 第二丸善ビル 営業(03)3272-0521
<http://www.maruzen.co.jp/>

※価格は税別