

トピックス

特別記念講演

「英国科学史漫歩：核とイオン」

核融合エネルギーフォーラム議長(京都大学名誉教授) 佐藤文隆



去年になりますが、2009 年というのは世界天文年とか、チャールズ・ダーウィン生誕 200 年、「種の起源」の出版から 150 年という年でした。ダーウィンの進化論はサイエンスだけでなく、社会的にも影響を与えた大思想でした。「種の起源」がどうしてエネルギー問題と関係があるのか。この本が出版されたとき、翌週の新聞で反応した科学者がいました。それはケルビンです。ケルビンが反応した部分は、進化論そのものではなく、本に記載されていた地球の年齢についてでした。「種の起源」の中では具体的な地球の年齢が書いてありました。ダーウィンはナチュラルセレクションが有効に働くためには非常に長い時間が必要で、6 千年程度の人類の歴史では不十分だろうと考えていました。そこで具体的に数字を上げるために、海岸の浸食の速さという地質学的な推測から 6 千年より遙かに長い地球の年齢を出した。そこに噛みついたのが若きケルビンでした。

19 世紀前半、イギリスが安定発展期に入り、ビクトリア朝が始まるころですが、炭鉱などの開発のために地球を掘り返すようになって、化石も出るようになった。そこで、地球の昔に市民が興味を持つようになっていました。地質学の中心はライエルという方でした。彼は科学（サイエンス）について、それまでの色々な議論と違って、実証的な科学的議論の方法論を定義していました。彼は現実の自然現象から過去を推測するのが科学で、現実には全然みられないプロセスを仮定して地球の過去を語るのとは科学ではない、という立場でした。ただ、地質学者もはっきりした数字を地球の年齢として推定していたわけではありませんでした。ダーウィンが与えたある数字は、ケルビンの推定やドイツのヘルムホルムの同じような推定とも合いませんでした。

ケルビンはある若いときに、フランスでフーリエの解析的な熱理論に触れました。フーリエの理論はある意味で初めて熱力学と時間に関連付けた理論でした。ケルビンもヘルムホルツもフーリエの理論をもとに地球や太陽が冷えるのに何年かかるのかとか、太陽のエネルギー源は何かという考察をしていました。太陽光度の熱の運び方は対流でのみ可能であり、太陽は固体ではなくガス球らしいという議論も出ていました。ケルビンは地球の冷え方や太陽の重力エネルギーの変換から、地球の年齢は数千万年程度だと推測しました。一方、ダーウィンは地質学から数十億年程度と推測していました。そのころの物理学は大変権威があり、地質学を蹴飛ばします。ケルビンが「ジオロジカルな時間の推定などというのはスタンプコレクション（趣味）みたいなもので科学ではない」と言って喝采を浴びたというような、そういう雰囲気の時でした。これを恐れて、ダーウィンは第 2 版から問題の数字を記載した箇所を全部省いてしまいました。地質学的には地球の年齢は最低でも数億年だと推測されていましたが、物理学からの指摘を恐れて 19 世紀後半には学会で地球の年齢はほとんど語られなくなりました。

しばらく物理学と地質学の推定はずれたままでしたが、物理学側で逆転が起きました。それは1904年です。ラザフォードが31歳で、ケルビンはこの頃にしては珍しく高齢まで生きていて81歳でした。ラザフォードの書き物が残されており、「部屋に入っていくとケルビン卿（ロード）がいた。ラジウムが貴方の短い地球年齢説をひっくり返したと言うと、睨みつけられた」と記されています。これが、地球や太陽の物理学による推定年齢が短いことと、地質学による推定年齢が長いことの矛盾を、核エネルギーがひっくり返した瞬間でした。太陽が核融合エネルギーで成り立ち、地球の中心が熱い状態を保っているのは放射性元素の追い炊きのようなものがあるからだ、核エネルギーが両者の矛盾を修正した訳です。

私が大学院に入った1950年代の終わり頃は、原子核物理学が星のエネルギーや元素の起源に適用された時でした。宇宙の初めは大部分が水素で、それが鉄に変わり、アインシュタインの関係における質量差が星の輝くエネルギーになっています。初めはプロトンで鉄に変わって、ある星ではニュートロンになる。最後にニュートロンになるためには、ものすごいエネルギーが必要で、それには重力エネルギーが働く。重力エネルギーで電子のフェルミエネルギーが上がり、それが原子核を壊して、プロトンをよりマッシブな素粒子に変えているのです。

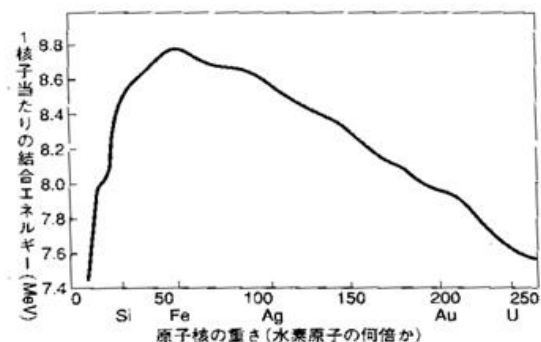


図1 原子核結合エネルギーの大きさ

私が大学院に入るあたりから盛んになっていたのは星の進化のこの後半部分です。釈迦に説法ですが、図1は原子核の結合エネルギーです。いわゆるフィッション型の原子力というのは重力エネルギーを電子のフェルミエネルギーに変えて、プロトンをニュートロンに変えている。だから世の中でいう原子力というのはある意味で重力エネルギーの缶詰を開けているのです。そして現在の化学エネルギーは太陽の核融合のエネルギーを利用して地上で歴史的に生成されたものですから、核エネルギーの缶詰を開けているのだと私はいっています。言葉遊びみたいですが。

ケルビンをインターネットで検索すると、普通の学者に比べてものすごい数がひっかかります。ケルビンはいまでこそ絶対温度を決めたと物理で習いますが、これは彼が若い頃の業績です。ケルビンの長い生涯の大部分は発明家でした。初期の頃は熱力学関係が多いのですが、後半は電気関係の発明が多い。よく言われる最大の快挙は海底電線の敷設です。そのための微弱な電流を計る計器とか。ケルビンはベンチャーを立ち上げています。あるとき、いまは京大である旧三高の倉庫から大正時代の実験装置がいっぱい出てきた。多くがイギリスからの輸入品でしたが、「トムソン（ケルビン）&……」という会社名の装置がたくさんありました。彼は豪華なお城やヨットをもつ大金持ちだったのです。日本でいうと絶対温度のケルビンというけど、卿（ロード）の位を受けたのは海底電線の成功でした。

ケルビン、イギリスのグラスゴーを拠点として研究を行っていました。グラスゴーには、ケルビンという名の丘や道路が多数ありますが、それらは人物のケルビンから由来した訳でなく、トムソンである彼がロードに叙せられるときにこの地名を用いたからです。日本流に言えば「出羽守」といった呼称。ちなみにラザフォードは、彼の故郷ニュージーランドの小さな港町ネルソンをとってネルソン卿です。また、グラスゴー大学に存在する、Kelvin MuseumはHunterian Museumという名の建物の中にあります。そこには、ケルビンの遺品やケルビンと名の付く会社の商標もたくさん飾られています。ケルビンはグラスゴー大学で晩年まで講義を行っていましたが（図2）、



図2 Kelvinによる講義風景

このグラスゴー大学には明治初期に十数名の日本人が留学し、先進技術を学びました。彼らはその後日本に戻り、工学の分野で大成し、今日の日本の発展を支えました。

イオンはギリシャ語で“move”を意味します。正および負のイオンの仕組みをすっきりさせたのは、軽いイオンの電子の発見でした。電磁波の分散関係はプラズマ中では変更を受けますが、波動の伝搬する媒質の相転移が素粒子の質量の起源であるというのが南部理論です。はなしを遡ると電気に関する研究の発祥は、空気に関する研究にあります。18～19世紀においては、空気存在を世に示すような実験や体験が流行しました。例えば、化学の祖と呼ばれるラバアジェもその一人で、ラバアジェの実験を支えた妻のマリー・アン・ラバアジェが近年は女性科学者の嚆矢とされています。また、プールのストリーも空気の研究を行い、動物が二酸化炭素を排出し植物は酸素を産出するという概念を確立させました。

電気は、エレクトロ = 琥珀という意味を持ちます。また、磁石の意味は、マグネ = ギリシャのマグネシアにおいて多く産出したことに由来します。電気や磁石の単位には、例えば、ボルト、アンペア、ワット、テスラ等がありますが、これらは全て人名に由来するものです。この単位において日本人の名前が登場しないのは残念なことです。電気もまた、18世紀頃からその存在を世に示すような体験が流行り、例えば、芸人による静電気ショーが貴族の間で楽しめるようになりました。その後、電池が発明され、電流という概念が生まれ飛躍します。電気の学問においては、当初は医者ガルーニによって、生物が電気を起こすのではないかという発想の元で、電池の発明につながるような研究が行われました。その後、ボルタが、ガルーニの行った研究を電池の発明に結びつけることに成功しました。電池については、ボルタ自身がナポレオンのところに向かい、その有用性を売り込んだことは有名です。以降、アンペアやファラデー、オームらによって電気に関する研究が続きました。電気に関する単位名の由来は、ドイツ出身の人物が多数を占めており、ドイツは電気の学問を発展させた国と言えます。

科学と国家に関する結びつきは、非常に興味深いものがあります。例えば、19世紀のドイツとイギリスを比べてみると、イギリスはいち早く帝国となりましたが、ドイツは後進国でした。一方、研究に関しては、イギリスではオックスフォードとケンブリッジ大学が知的権威であり紳士教育の場であるという概念が強かったため、そこで実験研究をするのが遅れました。一方、ドイツは当初から国立の大学で科学実験が奨励され、研究費も国から支給されていました。実験科学分野においては、ドイツはイギリスに比べ先進国であったと言えます。そのため、イギリスの学生のドイツへの留学が増加しました。そこで、イギリスも、オックスブリッジ等を実験所つくることになった。ケルビンはケンブリッジの所長に招聘されるが3回も断っています。その理由は周囲に器具製作所のようなインフラ環境が整っていなかったからでした。そこで、J.C. Maxwell や Rayleigh の数学の天才達を所長にした



図3 J.J. Thomson

が、三代目の29歳のフレッシュなJ.J. Thomson（図3）を選んだ。彼は腰を据えて自ら実験研究を立ち上げ、引き続きラザフォードが原子核の世界を拓いた。電子発見の場所に観光客用に建てられた銘板には、電子を「最初の素粒子であり、科学結合、エレクトロニクス、コンピューティングの基礎となった」と形容している。

19世紀の英国では、エリートの多くはケンブリッジの数学トライパス試験の成績上位者でした。それまでは試験といえば口頭試験でしたが、この頃から長時間の筆記試験が始まった。そのテストで上位になることは、社会的に非常に名誉なことでした。19世紀前半のテスト上位者は大司教や高級官僚となる者が多数でしたが、19世紀後半になると教授になる者も増加しました。例えば1880年における成績上位者には、1位にJ. Larmor、2位にJ.J. Thomsonがいました。ケンブリッジの物理教室の周辺の道路にはJ.J. ThomsonやJ.C. Maxwellの名がつけられ、建物名もRutherford,Bragg,Mottでしたが、今度行ってみると周辺はBill Gates名称が支配してました。日本にもお札の肖像に野口英世が登場しましたが、他でも科学者は結構お札に登場しています。Gauss,Volta,Farady,Curie 夫妻、Rutherford,Schrodinger などのお札がある。フランスではCurie 夫妻だがポーランド紙

幣では女史だけであり、Rutherford は英国ではなくニュージーランドである、など科学者と国民国家の関係は日本のように自明ではない。さらに、欧州が統一通貨になった今後どうなるか分からないが、少なくとも二十世紀は科学者のヒーローは国民に政治的な一体感をもたらす国の象徴となっていた。

研究者は現在でも増加し続けており、主要国における研究者数において、2006 年現在、日本はアメリカ、ヨーロッパに次いで第 3 位になっています。また、主要国における人口 1 万人当たりの研究者数で言えば、2006 年現在日本は第 1 位であり、次いでアメリカ、ドイツ、フランスと続きます（図 4）。科学の老舗のヨーロッパで案外少ないことがわかります。また、1990 年代以後、物理でみると院生や若手の研究者は伝統的アメリカ人でなくアジアやイスラム圏からの移入で増えている。先進国は理科離れだが中進国は沸いているのである。



図4 人口1万人当たりの研究者数