

200807-09 KH収縮

## ケルビン・ヘルムホルツ収縮

ケルビン卿のグラスゴー

2007年の英国旅行でケンブリッジ大学と旧グリニッチ天文台を訪れた話を[200804-06 グリニッチ天文台]でした。ながく付き合いのあるケンブリッジの天文学者マーチン・リースがトリニテイ学寮長、ロイヤルアストロノマー、ロイヤルソサイエティ総裁、ロードの爵位など次々と顕職についていくのを見て、英国学術制度の長い歴史に興味を持つようになった。

この時もうひとつの歴史を求めてグラスゴーに行った。19後半の大物物理学者ケルビン卿のことを拙著『異色と意外の科学者列伝』（岩波書店）に書いたが、その足跡を訪ねてみた。グラスゴーはスコットランドの大工業都市であるが、観光的魅力はスコットランドの首都エジンバラのほうにあるのでそこに数日滞在し、そこから日帰りでグラスゴーに行った。快速列車で1時間ほどである。グラスゴー大学には19世紀の解剖学の権威であったハンターリアンが寄付した収集品を展示しているハンターリアン博物館があり、この博物館の一角にケルビン展示室がある。

図1： グラスゴー大学構内のケルビンの銅像



ケルビンの名には絶対温度の単位名Kとして日ごろ理工系の多くの人が日常的に接している。絶対ゼロ度の存在を理論的に証明したのは若い時の業績であ

り、長寿であった彼の業績は実に多方面にわたる。展示室のパンフレットには次のように書かれている。「ウィリアム・トムソン (1824–1907 年) は卓越した科学者で天才的な発明家であり、数多くのパテントの保持者であり、優秀なビジネスマンだった。彼の基礎的な理論物理の研究は現代人に生活を変えた。グローバル・コミュニケーションを支える海底ケーブル敷設を指揮し、ジュール・トムソン効果の研究は冷蔵庫の発明につながり、航海術に欠かせないコンパスを発明した。」本名はウィリアム・トムソンといい、グラスゴー大学周辺の地名がケルビンであるために 1892 年にロードの爵位を貰ったときにこの地名を爵位名にしたのである。父は大学教授でこの街で育った。

### 太陽エネルギー論

電磁気学と熱学の古典物理学を完成に導き、それを駆使して自然の科学と技術的発明に縦横に活躍した。彼の業績には宇宙や地球の話も多い。星の構造と進化の宇宙物理学を学ぶと、ケルビン・ヘルムホルツ(KH)収縮という述語にであう。恒星が核融合反応を始めるまでの重力収縮の段階のことである。太陽のような恒星のエネルギーが原子力のエネルギーであるとわかったのは 1930 年代末である。放射線が発見されたのは彼の晩年の 1896 年である。この過程を議論したときは分かっていなかった。

1887 年、ケルビン (まだトムソンだった) は「太陽の熱」という題でロンドンで市民向けの定期科学講演「金曜講演」をしている。太陽の分光観測は始っていたが温度はまだよく分かっていなかったし、黒体放射の放射量と温度の関係 (シュテファン-ボルツマン法則) も知られていなかった。ただし、地球上での太陽熱の観測は地上だけでなく、気球での上空での観測などもなされており、太陽までの距離はニュートンの時代から解っているから、太陽放射量はおおよそ知られていた。

### 対流による熱輸送

この膨大な太陽放射の熱源はなにか? 当時は石炭の燃焼や隕石落下などが議論されていた。この頃は科学者の国際交流は珍しいことだが、国際的な単位系の統一のためにヘルムホルツとケルビンは各々ドイツと英国の代表として親交があった。ケルビンのこの議論もヘルムホルツの議論を論評することから始まった。ヘルムホルツは太陽が固体ではありえず流体 (気体) だという議論をした。

熱伝導の議論である。固体では輸送できる熱量には限界があるために、観測されている太陽の熱放射量が供給できない。だが流体なら対流が起こって十分な熱輸送が可能になる。

そして内部の熱の起源については重力エネルギーを考えていた。地球に現在も時々降ってくる隕石がイメージを提供した。現在、地球起源説では多くの隕石のような岩石が重力で降ってきてマグマオーシャンが出来るという説があるが、当時は太陽についてもそういう説が考えられた。熱源は重力で速度が増し、衝突で運動エネルギーが熱エネルギーに転換する。現在の太陽起源では気体の重力収縮だが、当時は隕石落下のイメージだった。ケルビンの講演でも南米アタカマ高原の大隕石跡などに言及している。

### 「太陽化学」

重力収縮するものが岩石群と水素主体の気体という差はあるが、重力エネルギーがまず熱源になるというシナリオは現代のものと同じである。いまから考えるとその答えしかないようだが、当時は化学反応も熱源になるのではないかと考えられた。ロキヤーという科学者は当時「太陽化学」という本を書いていた。ケルビンは全体の熱量の供給は重力以外には無理だが、今でいうフレアや黒点などの表面活動性は化学反応の可能性もあると言っている。このロキヤーという人物は、現在、国際科学雑誌として隆盛を極めている「NATURE」という雑誌会社を創業した人物である。

### ケルビンと地質学

太陽の熱源が重力エネルギーだけとすると、太陽が現在の明るさで輝いている時間はどう考えても一億年以下になる。一方、太陽エネルギーの話は地球の環境と関係するので決して宇宙物理の話にはおさまらない。今日のエネルギーや環境の問題が象徴しているように、地球環境、とりわけ生命の星としての地球環境と密接に関連している。一億年以下でも生命の誕生、生命の進化は可能なのだろうか？

十九世紀にはライエルの地質学とダーウインの進化論が別のシナリオで地球の年齢を語っていた。イギリスは産業革命先進国で炭坑や鉱山での掘削が盛んで、いろんな化石が見つかった。また大英帝国の海外進出で世界中の珍しい動植物にも関心が集まった。こうして博物学的な関心が大変盛り上がった時代だっ

た。1830年代、ライエルの地球史は天変地異を仮定せずに現在起こって自然の過程で変わってきたという斉一説が科学的考えとして提唱された。また60年代にはダーウインの『種の起源』も出版されていた。

### 地球の年齢

英国には地震がないので、長年安定した地層がある。この地層の形成と削られ方の時間を推定する学問が地質学である。斉一説はたっぷり時間をかけて地球は変貌してきたという考えを推し進めていた。ダーウインもこのゆっくりした地球環境の変化を前提に種の起源を構想した。

この一連の地質・生物進化での定説をケルビンは批判したのであった。地質現象には市民の関心が高まっていたところに、異分野のケルビンが「そんな長い時間は間違いだ」と殴り込みをかけた形になった。当時、物理学は熱、流体、電磁気の数理的に厳密な法則を次に次に完成し学問の手本とされていた。そしてその中心人物の一人がケルビンだった。地質学のなかでそれなりに辻褃の合うように積み上げてきた話を飛び越えた物理学の乱入には地質学は反論もできず当惑したようである。ダーウインの日記にも困惑が書かれている。

### ケルビンの誤りと原子核

現在から見るとケルビンの時間推定は百倍も間違っている。彼の太陽のエネルギー論で欠けていたのは核エネルギーであった。放射能発見は1896年であり、ヘルムホルツ・ケルビンの議論より二十年以上も後のことだ。1905年にアインシュタインが放射能のエネルギー源を質量エネルギーの一部として解釈し、1932年ごろに現在の原子核が明確になり、太陽での具体的な核反応式がわかったのは1939年だった。この核反応は融合反応であるが、地球のコアの高温の原因も核分裂の核エネルギーである。また地球の年齢の直接推定も放射能で可能になった。放射能の学問が星や地球の解明にいかに貢献したかが分かる。

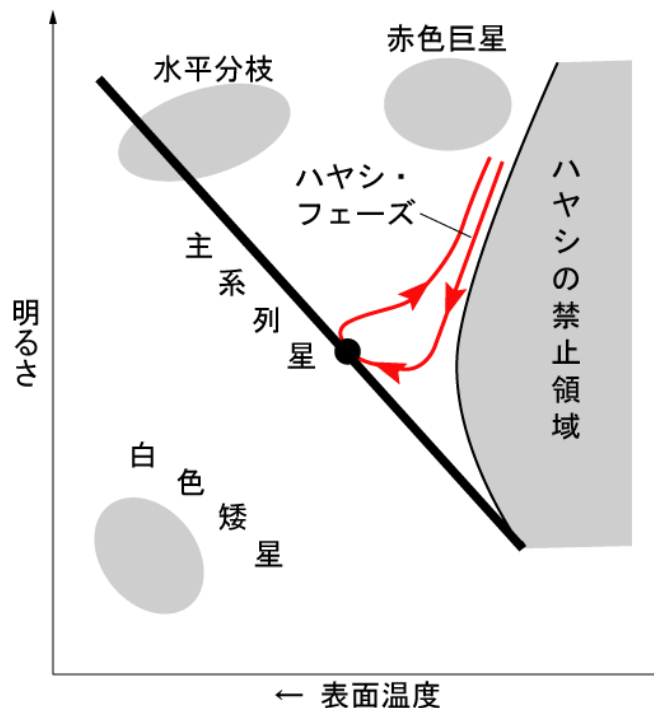
### ハヤシ・フェーズ

1960年以前の宇宙物理の教科書には「星間ガスがケルビン・ヘルムホルツ収縮という重力収縮をして、核融合反応が起こるほどに中心の温度が高まり。そこにとどまって水素がヘリウムに変わる核融合反応が百億年もながく続く」と書かれていた。KH収縮は現在の太陽の姿ではなく、核融合がエネルギーを供給

している現在の太陽の前の段階に位置付けられていた。ところがこの定説が1961年の林忠四郎の論文によって書き換えられた。私は大学院生として林研究室に入ったのは1960年であったが、当時、宇宙物理のリーダーであったフレッド・ホイルが「ハヤシ・フェーズ」と命名し、「ケルビン・ヘルムホルツ収縮」定説の改訂を宣言したので、ハヤシの名が世界の宇宙物理に広まったときだった。

林はこの発見は「巨星研究のバイプロダクトだった」といっている。主系列星から巨星になるときはどんどんと半径が大きくなっていく。一方、原始星から主系列星になるときは大きな半径が小さくなる過程である。変動の方向は違いますが大きな半径をもつ星構造の問題という点では同じである。とくに半径が大きいと低温になって熱輸送のメカニズムは放射輸送ではなく対流が主になる。この対流熱輸送の星構造の力学平衡理論によるとある半径以上の安定構造の解が存在しないのである。ということはある半径まではダイナミックに収縮し、そのエネルギーを一気に放出して高光度で輝き、ハヤシ・フェーズに沿って光度を減らし、ケルビン・ヘルムホルツ収縮の経路に入る、という様に訂正されたのである。ハヤシ・フェーズというダイナミックなプロセスが1960年代まで見過ごされていたのである。

図2：HR図上のハヤシフェーズとケルビン・ヘルムホルツ収縮。図中の赤線のハヤシフェーズで明るさを下げた後で主系列に向かう経路を右下に伸ばした経路がケルビン・ヘルムホルツ収縮。



もう一つのKH

Google の検索で「ケルビン・ヘルムホルツ(KH)」を検索すると「KH 収縮」よりは「KH 不安定性」のほうがポピュラーであることがわかる。ケルビンは連合王国UKのスコットランド人、ヘルムホルツはドイツ人である。(スコットランドでケルビンを「イギリス人」というと「それは違う」となる、日本でふつうに「イギリス」というのはUKのことで、UKにイギリス、スコットランド、ウェールズ、北アイルランドが含まれる)

当時。二人はともに国を代表する科学者だったので、この頃にはじまった単位系を統一する国際委員会の代表を務め、そのため二人は例外的に会っているのである。当時の 大物理学者の関心が重なっていることを見えて面白い。

KH 不安定とは速度が異なる二層の流れの境界層がおこる不安定で、小さな渦を発生させて境界層が崩れ、二層の流れが境界層で混じり合う。このような不安定性がKH不安定性である。川の合流点、上層大気層、波雲に見られるパターン、など身近にもいっぱい例があるが、宇宙物理でも木星の大気の渦や超新星爆発に見られる境界の渦、などあちこちにそのこの効果がみられる。

ケルビン展示館



図 3: ケルビン展示館に展示されている勲章や愛用の猟銃

物理の話からケルビンという人物の話に戻る。ウィリアム・トムソンが彼の本名でケルビンは爵位の名前である。ロードに叙せられた主な功績は海底ケーブル通信を成し遂げた功績である。この仕事の過程でも微弱な電流を測る電流計を発明、特許やベンチャービジネスをやった。当時のハイテク機器として日本をふくむ世界中の国で使われた。京都大学に三高の歴史遺産で残っている実験装置にもこの会社の電流計が見られる。そういうこともあって彼はだいぶ経済的に裕福な人生を後半おくれた。展示品にも勲章や狩猟・ヨット航海などの身の回り品が展示してある。彼は外洋航海ができる大きな帆船を所持し、また海辺のお城も購入してもっていた。この航海の趣味に関連してもコンパス利用を考案し、理論を作り、製造販売するといったちゃんと儲けに結び付けている。

またケーブルを海底に下ろしていく際におこった数多くのトラブルをそれぞれ物理学の問題として解決した。1888年代当時、イギリスでは物理学は「実験をやる自然哲学」と呼ばれていたが、このケルビンの活躍で物理学は工業を興す学問へとイメージが膨らんだ。工業の為に物理学は役立つという認識が社会に広がって学校教育も中身も変わっていったほどだった。その一方で彼は高齢になってからも原子モデルやエーテル理論といった最先端で旺盛に論文を書き続けた。1900年のいわゆる彼の「物理学にかかる二つの暗雲」演説は量子論と相対論の到来を見越す見事な見通しを持っていた。

## 日本からの留学生

明治維新後、日本からの理工系の留学生は多くはグラスゴーに留学した。文系はおもにオックスフォードが多かった。また東京の帝国大学（当初は一つしか帝国大がなかったのでこう呼ばれ、京都に二番目が出来て帝国大学は東京帝国大になった）は初めは全部外人教授であったわけだが、物理学ではケルビンの弟子が多い。研究面では、磁性の物理の研究・開発が日本のお家芸になるが、これもこの歴史のうえにある。

グラスゴーに留学した人材は帰国後みな日本で第一人者になって重要な人物になっていくが、それらは鉄鋼とか造船とかの工学のリーダーが多い。日本人として初めて原子モデルなどという最先端の問題を論じた長岡半太郎はその次の世代である。田中館愛橘はケルビンに指導を受けた。長岡がドイツを中心に留学したのはケルビンが大学を退いた後だった。磁気の研究はケルビンの弟子の外人教師が日本に植え付けたものであった。原子モデルで長岡を刺激したのはケルビンの渦原子模型と J J トムソンの無核原子模型であった。

## 追記：長州ファイブから工部大学校

2015 年末に友人のマーチン・リースが日本から外国人叙勲を受けたとメールがあり、在英日本大使館の HP などを見て明治維新前後の日英交換に見聞を広めた。例えばマンガや映画になった「長州ファイブ」が親日英国人のあいだで有名なことや、「開国時」に UCL 教授だったウイリアムソンという人物を顕彰する最近の動きなどを知った（大塚孝明『アレキサンダー・ウイリアム・ウイリアムソン伝』、海鳥社）。そこで次の文章を書いた：「ブリックスで開国」日経文化欄 2016 年 3 月 20 日、「工部大学校 後進国の先進性」『歴史のなかの科学』第 2 章。ここで「ブリックス」とはレンガ造り校舎の学校出身者を意味し、大理石造りのケンブリッジとオックスフォードの大学出身者が使う言葉だが、科学技術での日本の開国はグラスゴー大学やロンドン大学の「ブリックス」への留学でなされたのであった。