

# 熱力学の軌跡を人物と法則から追う。

## 橋爪 路乃、村谷 茉鈴

紀元前 350 年 アリストテレスが 5 番目の元素、エーテルを 4 元素に加える。

西暦 50 年頃 アレクサンドリアのヘロンが、最初の蒸気機関を製作。

1543 年 ニコラス・コペルニクスが「天動説」を覆し「地動説」を提唱する。

1638 年 ガリレオの「落下の法則」が出版される。

1662 年 ロバート・ボイルとドニ・パパンが、最初の気体の法則「ボイルの法則」を公式化。

1678 年 クリステアーン・ホイヘンスが「光の波動説」を発表。

1687 年 アイザック・ニュートンが「プリンキピア」を出版。この中には、「運動の法則」と「万有引力」の法則が掲載されている。

1704 年 ニュートンがホイヘンスの理論と対立する「光の粒子説」を提唱。

1750 年代 産業革命が英国で始まる。

1762 年 ジョゼフ・ブラックが潜熱を発見。

1780 年 アントワーヌ・ラヴォワジエとピエール＝シモン・ラプラスが熱は測定できる物質であると提案し、カロリックと名付ける。

1824 年 ニコラ・レオナルド・サディ・カルノーがカルノーサイクルを提案。

サディ・カルノー



(Nicolas Léonard Sadi Carnot 1796~1832)  
“カルノーサイクル”のカルノー

1796 年、パリにてフランスの名家カルノー家の次男として生まれました。彼は工兵士官として陸軍に勤務し、24 歳で退役します。その後、物理学・経済学に興味を持ち、研究者になりました。カルノーサイクルという業績を持ちますが、彼自身は 36 歳という若さでコレラによってなくなり、彼の業績が認められたのは論文発表から 20 年も後でした。遺稿より彼が生前エネルギー保存則、熱の仕事量、熱の分子運動まで考察していたことがわかっています。

カルノーサイクル

高温熱源 A と低温熱源 B との温度差を利用してピストンの上下運動をするための仕事を取り出す機関で、冷暖房にも応用されています。

- ① 等温膨張(A にピストンを接し、内部気体を膨張させる)
- ② 断熱膨張(ピストンを断熱材で覆う、気体の膨張を B と同じ温度になるまで続ける)
- ③ 等温圧縮(B にピストンを接しながら、内部気体を外部からの仕事によって圧縮する)
- ④ 断熱圧縮(断熱環境下にして A と同じ温度になるまで圧縮を続ける)

ランフォード卿



( Benjamin Thompson, Count Rumford 1753~1814)

熱が物質でないことを明確に示した物理学者

1753 年、マサチューセッツ州の農家に生まれたトンプソンは父親を早くに亡くし、母の再婚相手の雑貨店にて 13 歳のころから働いていました。その後、開業医の弟子になりますが、彼の興味は自然科学にあり、ハーバード大学で聴講を始めます。その後ランフォードというボストンの小さな村で教師をしている際、富裕な未亡人に見初められ結婚、後、州知事の目に留まり、独立戦争で将校を務めるにまで至りません。しかし、スパイ容疑をかけられイギリスに亡命。その後、イギリスの騎兵隊長、オーストリアの遠征軍を経て、ミュンヘンに渡り、バイエルンの選帝侯に仕えました。侯君につぐ権勢をふるいながらも、物理の研究を怠らず、熱学の発展に努めました。1798 年実験によって(右参照)、熱が物質ではないことの根拠を示しました。その後、アメリカ帰国が認められ、アメリカに研究所を設立、多くの優秀な科学者を輩出しました。



## 熱素説 vs 熱運動説

熱力学発展の過程で、『熱とは何か』というのが最初の議論の対象とされていました。

### 熱素説

『熱とは熱素という物体の中に含まれる重さのない流体である。』  
物体中に熱素が流れ込むと物は暖められ、逆に物体から熱素が流れ出ると、物は冷え、また、物体は熱素を収縮によって排出し、膨張によって吸収する、と考えられていました。この考えはいたって自然で、熱現象を満足に説明できたのでした。

### 熱運動説

『熱とは微小粒子の運動である。』  
ハンマーでたたかれた金属が熱くなる現象や摩擦による温度上昇が熱素で説明できないことから、熱は微小粒子の運動であると考えられました。ジョン・ロックやボイルなどがこちらの論者でした。ただ 18 世紀終わりぐらいまでは熱素説の方がやや優勢でした。

この両者引かない議論から、熱素説を否定する明確な証拠を示した実験があります。

→ランフォードの実験

大砲の地金(金属の塊)と鉄鋼のなかぐり棒を水中に準備し、地金になかぐり棒を押し当てて回転させます。すると、大量の水は地金となかぐり棒の摩擦熱によって、沸騰します。なかぐり棒の回転が続く限り、熱は発生し続けました。したがって、なかぐり棒の運動による地金との摩擦以外に熱の発生の原因は考えられなかったため、熱が運動であることの根拠となりました。

この実験直後はまだ学者たちに大きな影響を与えずにいましたが、数十年後ジュール、マイヤー、ヘルムホルツによって、運動説は正しく発展されました。

## 熱力学第一法則

エネルギー保存則は力学でよく知られていますが、この熱力学第一法則はエネルギー保存則に熱力学的要素を含めたものです。

以下の式はある系が外部から熱を  $\Delta Q$  だけもらった時、それを外部への仕事(きたいであれ)  $\Delta W$  と、温度上昇すなわち内部エネルギーの上昇  $\Delta U$  に使われるということを表しています。

$$\Delta'Q = \Delta U + \Delta W$$

各項の前につけられている  $\Delta$  は変化量を表します。以下の図のように、外部熱源から与えられた熱量が、内部気体の温度の変化量と、気体が膨張してピストンを押した仕事に使われます。

1842年 ユリウス・フォン・マイヤーが熱力学第一法則を提案。

1848年 ウィリアム・トムソンがケルビン温度目盛りを提案。

1851年 フーコーの振り子によって地球が自転していることが証明される。

1859年 チャールズ・ダーウィンが「種の起源」を出版し、進化論を導入。

1865年 ルドルフ・クラウジウスが熱力学第二法則のなかでエントロピーの概念を提案。

1869年 ドミトリー・メンデレーエフが周期表を提案。

1897年 J.J トムソンが電子を発見。

1905年 アルベルト・アインシュタインが光電効果、ブラウン運動、特殊相対性理論に関する論文を発表。

1932年 中性子と陽電子が発見される。

1949年 湯川秀樹が「中間子の予言」で日本人初のノーベル賞を受賞。

2002年 R.デイヴィス、小柴昌俊が宇宙ニュートリノを発見しノーベル賞を受賞。

2008年 南部陽一郎が「自発的対称性の破れの発見」、小林誠、益川敏英「CP対称性の破れの起源の発見」でノーベル賞を受賞。

2017年 LIGO が互いを回る 2 つのブラックホールからの重力波を検出し、ノーベル賞を受賞。

## クラウジウス



(Rudolf Julius Emmanuel Clausius 1822~1888)

17 世紀、熱力学の重要な概念を提唱した物理学者。

1822 年、プロイセン王国領ポンメルン（現在はポーランド領）に生まれました。父は牧師であり小学校の校長でもあったため、クラウジウスはその学校で初等教育を受けました。その後、ベルリン大学に学んだあと、ボン大学の教授になりました。彼は、1850 年に、熱力学に関して初の論文となる「熱の動力、およびそこから熱理論のために演繹しうる諸法則について」を発表しました。内容は、カルノーの熱の理論と熱の運動論に調和をはかるものであり、また、熱力学第二法則を発表しました。後に紹介するケルビン卿も独自にこの問題に取り組み、1851 年に彼も熱力学第二法則を発表しました。また、1865 年に熱力学の重要な考え方の一つであるエントロピーを発表しましたが、これは当時の学者の間でも難解な理論だったそうです。

## ケルビン卿

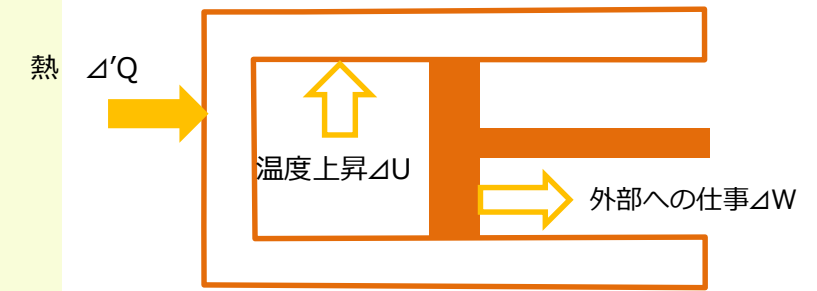


(Lord Kelvim 1824~1907)

本名はウィリアム・トムソン。

ケルビン[K]の単位名称の元となった物理学者。

1824 年、アイルランドのベルファストで 2 人兄弟の次男として生まれました。父はベルファスト大学の数学教授であり、トムソンは兄とともに父から教育を受けました。兄のジェームズも後に物理学者となり、圧力による氷点降下や水の三重点を発見しています。幼いころから神童ぶりを発揮していたトムソンは、わずか 10 歳でグラスゴー大学へ入学を許可され、1841 年からはケンブリッジ大学で学び、1845 年に次席で卒業しました。そして、22 歳の若さでグラスゴー大学の教授に就任し、イギリスの大学で初の物理学研究室を作りました。彼は、商売も上手で、初の大西洋横断の海底ケーブルをひき、また、電信事業では莫大な財産を築きました。主な業績は、1848 年、絶対温度ケルビン[K]の概念を発表しました。また、電流天秤、電位計、音響器、ルネサンス期の三大発明の一つ、羅針盤などを発明しました。1851 年に、クラウジウスとは別に熱力学第二法則を発表しました。彼は、古典物理学のほとんどの分野に約 661 編の論文を発表し、コプリ・メダルやロイヤル・ヴィクトリア勲章など、生涯にかけて様々な賞を受賞しました。



## 熱力学第二法則

熱力学第二法則とは、「熱は、自然に高温から低温に流れる」というものです。

例えば、温泉につかると冷えた身体が温まる、反対に、冷たい水の中で泳いでいると身体が冷えてくる、みたいな現象です。

左記のクラウジウスとケルビン卿は、それぞれ熱力学第二法則を発表しています。具体的には、

### クラウジウスの原理

「熱が低温の物体から高温の物体へ、最終的にそれ以外に何の変化も起こさずに流れることはない」

### トムソンの原理

「仕事熱に変化する場合、それ以外に何の変化も起きないなら、その経路は一方通行であり、変化後から変化前に戻ることは出来ない」

## エントロピー

### 乱雑さとエネルギー

物質には、より乱雑な状態の方が、また、より低エネルギーな状態の方が安定、という基本的性質があります。物質は、自然と安定な状態を目指すので、ほおっておけば物質は拡がり、より低エネルギーなエリアへ移動します。

例えば、深夜の電車、乗客はあなたの他に 1 人しかいない、あなたはどの席に座りますか？その乗客の隣に座りますか？その乗客がよほどの麗しき殿方か、愛らしき姫君でない限り隣にくっついて座らないでしょう。おそらく適度に空間を空けて座るはず。

「適度に空間が空いている方が快適」、これがエントロピー増大の法則です。エントロピーとは、「乱雑さ」のことです。物質も同じ性質です。くっついているとエネルギーが上がってしまうので、なるべく離れようとし、エントロピーが増大する方向へ自然と移動します。