

黒体概念の歴史 —Boltzmann の仕事について—

A history of a concept of the black body

On the Boltzmann's work

○諸田恭佑¹, 雨宮高久², 植松英穂²*Kiyosuke Moroda¹, Takahisa Amemiya², Eisui Uematsu²

Abstract: A concept of the black body was suggested by G.Kirchhoff while he built a heat radiation theory in 1860. Boltzmann succeeded in proving a Stefan's law theoretically by using this black body concept. Stefan led the law that came to be known for his name based on experience. The law is called Stefan-Boltzmann's law now. An experimental and theoretical study of the black body radiation began at the end of 19th century, and an energy spectrum distribution of the black body radiation was led theoretically by M.Planck in 1900. Kiyoshi Amano who was a historian of science researched a history of radiation theory for the first time. We took notice his history, especially a history of a concept of the black body, but his research was not enough about Boltzmann's work. Hereafter, we would like to research about Boltzmann's work.

1. はじめに

“黒体”という概念は、1860年に Gustav Kirchhoff(1824~ 1887)によってすべての波長の光を完全に吸収することのできる物体という意味で導入された。そして彼は一定温度の光を通さない空洞内の熱輻射が黒体輻射と同等であることを証明した。1884年、Ludwig Boltzmann(1844~1906)はこの黒体概念を用いて、ある物体を加熱した時にそこから出てくる全エネルギーは、その温度の4乗に比例するという Stefan の法則を導くことができた。現在この法則は Stefan-Boltzmann の法則と呼ばれている。その後、黒体輻射の研究は、ドイツの国立物理工学研究所で街頭で使うガス灯や電気照明の標準光度を決めるために行われるようになった。1893年、同研究所の Wilhelm Wien(1864~1928)は彼の名で知られる変位則を導き、1895年に Wien と Otto Lummer(1860~1925)は、それまで使われていた標準光度としての白金の融点の代わりとなる黒体輻射のエネルギースペクトル分布を計測する実験的研究を行った。同年 Wien は、理論的にエネルギースペクトル分布式を提出したが、実験値とは、ずれが生じていた。この後、この研究所では精密な実験的測定が行われ、Wien の理論式では合わないことが確実となった。黒体輻射の理論的研究を行っていたベルリン大学の Max Planck(1858~1947)は、1900年に黒体輻射のエネルギーが不連続であると仮定すること、つまり「量子」概念を導入して、実験値と完全に合う分布式を導くことに成功した。

以上のような流れで黒体概念の変遷が理解されて

きているが、このような歴史的変遷を最初に扱ったのは、天野清(1907~1945)であった。彼は東京帝国大学物理学科卒業後、商務省中央度量衡検定所(現計量研究所)に勤務しながら量子力学史を研究し、1943年『熱輻射論と量子論の起源』^[1]を出版した。彼は1945年の空襲で死去したが、1948年には『量子力学史』^[2]が遺稿として出版された。その後活躍した科学史家たち、例えば広重徹、辻哲夫、高林武彦らは、量子力学史については天野の影響を強く受けていると言える。

本研究では特に、Kirchhoffにより提出された黒体概念が Boltzmann によって、どのように受容されたのか調査した。

2. Boltzmann による黒体概念の受容

天野は著書『熱輻射論と量子論の起源』の中で、Boltzmann の師 Josef Stefan(1835~1893)に対して、次のような分析をしている。

「Josef Stefan(1835-93)が、物對が発する全輻射エネルギーは絶対温度の4乗に比例して増加するという法則を提案したのは、彼が全く偶然にもほぼ黒体に近い条件で実験をした Tyndall や F.de la Provostaye 及び P.Desains の材料を利用した為で、彼自身としては黒體という条件を考えず一般に成り立つものと信じてであつた。ところが Stefan に引續いてこの法則を検證した十指に餘る多くの學者も、皆黒體条件を無視したので結果は區々となり、Stefan の提案を否定するものが多かつた。」^[3]

このように、天野は Stefan が黒体条件を理解して

1、日大理工・院・物理、2、日大理工・教員・物理

いなかった事を指摘し、後述で熱輻射論における黒体条件の必要性を説いているとともに理論無き実験の脆さを指摘した。

それと対比する形で Boltzmann のことを「この間黒体条件を明白に認識して書いたのは Boltzmann 一人であつた。」^[4]と評価している。

しかし、Boltzmann が Stefan の法則を導出する際に、Stefan が黒体条件を見逃したことを Boltzmann が批判しなかったために Stefan の法則は長く忘れ去られ埋没してしまつたと、天野は自身の見解を述べている。

「彼は(Boltzmann)は Stefan の実験に対しても、格別黒体条件の批判をしなかった。そこでこの問題は Wien と Lummer が 1895 年に三度目の発見をするまでは忘却の闇に没したのであつた。」^[5]

また『量子力学史』の注釈にも次のように書いている。

「黒體という点から充分精密に betonen(強調)されなかつたので、Boltzmann は Stefan の 4 乗則を唯観測によく會うといつている。」^[6]

さらに、天野は Boltzmann が Stefan の法則を理論的に導出したことに関しては、A.Bartoli と J.C.Maxwell の影響があつた事を指摘している。

「Boltzmann による Stefan の 4 乘法則の証明は、A.Bartoli が、輻射が氣體のように物體へ壓力を及ぼすとすれば第二主則と熱輻射が矛盾しないことを論じたのに示唆されたものである。彼は同様の思考実験により、先ず熱力學的に輻射壓と温度との關係を得て、次いで當時一般にはまだ採用されて居なかつた Maxwell の光の電磁論を利用して、4 乗の法則を導いたのである。彼の洞察力と勇氣がよく現われて居る。」^[7]

そして天野は Boltzmann の理論に対して次のように書いている。

「H.A.Lorentz はこの Stefan-Boltzmann の法則を「理論物理學の眞珠」と讃えて居るが、輻射を理想氣體と同様に取扱う点など後のいわゆる Licht-quantengas に通ずるものがあり、若い Wien 等は大いに影響を受けたのであつた。」^[8]

『量子力学史』の中でも上記と同様な解説が展開されているが、「Boltzmann は H.T.Eddy なる人の “Radiant heat as an exception of the second law of thermodynamics” という論文を彼が受持つていた Beiblätter に抄録する際この著者の誤解を正そうとした」^[9]という一文が加筆されている。これにより、

Boltzmann は熱輻射と第二主則に関して H.T.Eddy の影響を受けていたことが読み取れる。

3. 天野の研究からの一考察

天野の研究から、Boltzmann が Bartoli と Eddy の影響を受けていることが分かつた。しかし、天野は Eddy について論文のタイトルを書いているが、出典に関しては何も書いていないことから、おそらく Eddy の論文を実際に読んでいないと推察される。

天野は Stefan の法則が長い間注目されなかつた理由として、Boltzmann が黒体条件に関して Stefan を批判しなかったことを上げている。しかし当時、黒体概念が一般的に知られていなかつたかどうかについて、天野は根拠となる史料を提示していない。また、Boltzmann が黒体概念をいつどのような経緯で知ることになったのかも、天野の著作からは読み取れなかつた。さらに天野は、Boltzmann が Stefan の法則に対して、黒体概念と同時に Maxwell の電磁理論 (1863 年頃) を導入したことを高く評価しているが、Maxwell 理論を Stefan の法則の理論的証明に適用した理由については何ら言及していない。このことに関する評価は、他の科学史家の研究に置いても同様である。

4. まとめ・今後の課題

天野が行つた先行研究を通して、Boltzmann による黒体輻射の研究については、Bartoli や Eddy の影響を調査しなければならないこと、そして Maxwell 理論の受容という観点から調査しなければならないことが判明した。これらの問題点を今後の研究課題としたい。

5. 注釈・参考文献

- [1] 天野清：『熱輻射論と量子論の起源』, 1943 年
- [2] 天野清：『量子論史』, 1948 年
- [3] 前掲[1] p.11
- [4] 前掲[1] p.11-p.12
- [5] 前掲[1] p.12
- [6] 前掲[2] p.16
- [7] 前掲[1] p.12
- [8] 前掲[1] p.12
- [9] 前掲[2] p.16