

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	アインシュタインによる古典論の限界の発見：量子論黎明期において固体比熱理論が量子論受容に果たした役割について
Title(English)	Einstein's Discovery of the Critical Point of Classical Theory : How the Theory on the Specific Heats of Solids Played a Role in the Acceptance of Quantum Theory During its Dawn
著者(和文)	古谷紳太郎
Author(English)	Shintaro Furuya
出典(和文)	学位:博士(学術), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10581号, 授与年月日:2017年5月31日, 学位の種別:課程博士, 審査員:中島 秀人,伊藤 謙治,飯島 淳一,札野 順,調 麻佐志,細谷 暁夫
Citation(English)	Degree:Doctor (Academic), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10581号, Conferred date:2017/5/31, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	要約
Type(English)	Outline

本論文は、古典論から量子論への転換課程における、アルベルト・アインシュタイン (1879-1955) の固体比熱理論の役割を解明した。本論文では、量子論の有効性や必要性がまだ明確ではなかった古典論から量子論への転換期に注意を喚起するため、前期量子論ではなく量子論黎明期という用語を導入している。従来の量子論史では、量子論黎明期の歴史は、熱輻射理論を軸に量子論の展開が描かれており、固体比熱理論は熱輻射理論の応用として受け止められてきた。対して本論文では、量子論の展開から受容に観点を移し、また各理論を当時の実験と照らし合わせることでアインシュタインが固体比熱で量子論を展開した理由を明らかにし、固体比熱理論は熱輻射理論の応用ではなくむしろ古典論から量子論への転換の決定打であったと主張した。

量子論の受容に際して、固体比熱理論は具体的にどのように決定打の役割を果たしたのか。この問いに答えるために、本論文は次の三点を検証した。第一は、先行研究において古典論の限界として認識されていたといわれるエネルギー等分配則を、当時の物理学者はどのように受け止めていたのかということ。第二は、従来量子論史の軸として描かれてきた輻射理論について、当時の物理学者はどのような議論を行っていたのかということ。第三は、従来の量子論史ではほとんどまったく議論されてこなかった、アインシュタインが量子論を論じる際に輻射ではなく固体比熱に向かった背景および理由である。

第一章では、序論として先行研究を概観した。まず、物理学教科書から専門の量子論史にわたる先行研究を光量子仮説と固体比熱理論の言及の仕方によって分類し、専門的な量子論史において固体比熱理論が輻射研究の応用として位置付けられていることを確認した。そのうえで、固体比熱理論が量子論の一般性を初めて明らかにしたというアブラハム・パイスによる指摘を手掛かりにして、固体比熱理論の役割を量子論の受容の観点から見直す必要があると問題提起を行った。

第二章では、アインシュタインが 1907 年の固体比熱論文で論じる以前にエネルギー等分配則の放棄を主張していた、1900 年のケルヴィン卿 (1824-1907) の講演の分析を行った。この分析を通じて、1900 年前後におけるエネルギー等分配則の位置付けを確認し、当時エネルギー等分配則は古典論における問題の一つとして認識されてはいたものの、古典論が直面している限界であるとまでは認識されていなかったと論じた。

たしかに、早くも 1900 年の時点で、ケルヴィン卿はエネルギー等分配則を放棄すべきだと主張していた。しかし、その頃のエネルギー等分配則は、ルートヴィヒ・ボルツマン (1844-1906) による固体比熱理論やハインリッヒ・ヴェーバー (1843-1912) による測定によって、むしろ古典論の一角をなす理論として信頼されるようになっていた。また、当初エネルギー等分配則が仮定していた粒子モデルは、化学熱力学やマッハ主義の影響で不必要な仮定だとみなされるようになっていた。ケルヴィン卿の主張は、先駆的ではあったものの科学者たちが共有する理論や仮定を真っ向から否定するものだったため、当時は受け入れられることがなかったのである。1900 年頃には、エネルギー等分配則には問題があることは認識されていたが、放棄すべき深刻な問題があるとは考えられていなかった。

第三章では、熱輻射研究の歴史を振り返り、関心や実験機器構成の変遷と照らし合わせることで、主要な熱輻射理論の認識論的背景を明らかにした。本論文では、世界像等の既存の用語と区別し、とくに実験と理論との間の相関に注意を喚起するために、物質観という用語を導入して認識論的背景を論じている。

ヴィルヘルム・ヴィーン (1864-1928) の物質観は、黒体輻射装置から空洞輻射装置への実験機器の変更と対応しており、理論が仮定する輻射源として実在的な粒子モデルが採用されていた。他方、レイリー理論とヴィーン理論は、粒子モデルを批判していた。レイリー卿 (1842-1919) の物質観は、主に輻射線の性質のみに着目するもので、エネルギー等分配則を音響理論に結び付けて、振動する弦モデルで熱輻射を説明しようとしていた。マックス・プランク (1858-1947) の物質観は、実在的な粒子モデルだけでなく、あらゆる実在的な物質的仮定を取り除こうとするものだった。このように、三者の理論は物質観がまったく異なっており、彼らの議論はまるで噛み合っていなかった。また、当時は原子・分子の実在が未確認で、エルンスト・マッハ (1838-1916) の影響によって粒子モデル等の仮定の導入に批判的な態度を取る科学者たちが主流だったにもかかわらず、ボルツマン、ウラジーミル・ミヘルゾン (1860-1927)、ヴィーンと、原子・分子を実在的に扱う理論が徐々にその存在感を増していた。

第四章では、光量子仮説から固体比熱理論に至るアインシュタインの一連の論文を分析し、彼の物質観を浮き彫りにすることで、第三章で明らかにした主要な輻射理論の物質観との相違を明らかにした。そうすることで、彼が輻射理論ではなく固体比熱理論に向かった理由と、量子論史における固体比熱理論の意義を論じた。さらに、量子論が国際的に認められた景気とみなされている 1911 年の第一回ソルヴェイ会議を分析し、量子論の受容のされ方が本論文の主張と一致することを確認した。

アインシュタインは、光量子仮説を論じた 1905 年の段階では、プランクの輻射の量子論に批判的だった。ところが、次の論文で彼は考え方を変えた。当初、アインシュタインはエネルギー等分配則を堅持したまま独自に統計力学的アプローチを追及した結果、光電効果における量子の有効性を見出した。その際の彼の物質観は、対立する古典論の二つの描像、すなわち電磁気学的描像と気体分子運動論的描像のどちらも排除しないものだったため、気体分子運動論的描像を排除しようとするプランクの輻射の量子論に批判的だった。しかし、次の論文でヴィーン分布則が成り立つ範囲で古典論の二つの描像が対立しないこと、すなわち古典的エネルギー等分配則が破綻する条件とその仕組みに気が付いたアインシュタインは、自身の物質観とプランクの輻射理論を見直した。ここに至って、量子論がエネルギー等分配則を代替し得るということが史上初めて認識された。つまり、このときに初めて、エネルギー等分配則は、古典論の限界として発見されたのである。

ただし、古典論の限界の発見はあくまでアインシュタイン個人のものだったため、彼はその発見を他の科学者たちに説得的に示す必要があった。しかし、プランクの物質観が反映された輻射の量子論には、電磁気学的すぎるという難点があった。そのため、アインシ

ュタインはプランクの輻射の量子論を展開せず、固体比熱で量子論を展開することになった。実際、彼は固体比熱論文で、電磁気学的な説明を一切用いずにエネルギー等分配則の破綻を示している。したがって、アインシュタインの固体比熱理論は、プランクの輻射の量子論の応用だったということではできない。アインシュタインは、エネルギー等分配則が破綻する別の事例を示すことで、プランクの輻射の量子論の難点、すなわち電磁気学的すぎて不連続性が取り出せないという問題を棚上げして、量子論の有効性を論じたのである。

パイスの指摘は正しかった。また、その指摘が暗示していた量子論黎明期の歴史は、量子論史の通説でいわれているものとはまったく異なっていた。1907年のアインシュタインの固体比熱論文によって初めて、エネルギー等分配則が古典論の限界であることが示され、量子論の有効性が喚起された。このアインシュタインの意図に気が付いたヴァルター・ネルンスト（1864-1941）は、実験データを揃え1910年にアインシュタインの固体比熱論文を引用した論文を発表した。ネルンストは、その直後に第一回ソルヴェイ会議を企画した。会議の構成は、すでに草稿段階から、彼が気づいたアインシュタインの意図と対応していた。第一回ソルヴェイ会議の目的は、古典論の限界がエネルギー等分配則にあることを確認し、量子論の全般的な有効性を議論することだったのである。

このように、本論文は、第二章で、先行研究では古典論の限界として認識されていたといわれるエネルギー等分配則が、むしろ古典論の一角として信頼されており、その問題はそれほど深刻には受け止められていなかったことを確認した。また、第三章で、輻射研究について実験と理論の双方を分析することで、彼らの議論は量子論の展開に通じるものではなく、むしろ古典論における物質観の対立であったことを、それぞれの特徴を明らかにしながら検証した。最後に、第四章で、アインシュタインがエネルギー等分配則を古典論の限界として認識したプロセスを確認し、彼の物質観とプランクの物質観の相違を明らかにすることで、彼が輻射ではなく固体比熱で量子論を論じた理由を論じた。また、第一回ソルヴェイ会議の内容を確認し、量子論の受容のされ方が本論文の主張と一致することを確認した。通説でいわれているのとは異なり、古典論から量子論への転換は、輻射の量子論の固体比熱等への応用によってなされたのではなかったのである。

かくして、本論文は、古典論の限界すなわちエネルギー等分配則の破綻がアインシュタインによって発見され、それが固体比熱の量子論で具体的に示されることによって初めて量子論が受容され、古典論から量子論への転換がなされたのだと結論した。