

平成 21 年 4 月 23 日現在

研究種目：若手研究(B)
 研究期間：2006～2008
 課題番号：18700674
 研究課題名(和文) 19 世紀末の赤外部スペクトル研究における独・米の実験科学の役割に関する歴史的研究
 研究課題名(英文) A Historical Study on the Role of German and American Experimental Science in the Infra-red Spectral Research at the End of the 19th Century
 研究代表者
 小長谷 大介 (KONAGAYA DAISUKE)
 龍谷大学・経営学部・准教授
 研究者番号：70331999

研究成果の概要：

本研究は、一定の目的をもった実験研究の一連の構成を意味する実験プログラムという観点から赤外部輻射(熱輻射)実験を分析し、19 世紀末ドイツの実験研究には、分光学研究からの流れを汲む実験プログラム、標準研究からの流れを汲む実験プログラム、赤外線測定からの流れを汲む実験プログラムが存在し、実験の目的、機器、機器構成(機器の組み合わせ)を介して実験プログラム間の相互交流が生まれ、その交流を通して、広範で高精度の実験データが 1900 年に提出されたことを明らかにした。また、19 世紀末の赤外部輻射実験への貢献の大きかったドイツとアメリカの貢献の仕方の違いについても明らかにした。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006 年度	1,200,000	0	1,200,000
2007 年度	800,000	0	800,000
2008 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	3,000,000	300,000	3,300,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：科学社会学・科学技術史

キーワード：赤外部輻射線，実験プログラム，19 世紀末ドイツ

1. 研究開始当初の背景

赤外部スペクトルの実験研究は 1880 年代～90 年代に大きな発展をとげた。その研究成果は、可視光に隣接する長波長スペクトルを実験的に利用できる環境をもたらし、19-20 世紀転換期にエネルギー量子の発見、原子構造論の構築に確かな足がかりを与えた。この

点を踏まえて、先行研究は、以下の傾向をもっていた。

(1) 赤外部スペクトルの実験研究を、エネルギー量子誕生の前史としてとらえた科学史研究。代表的研究：Hans Kangro, *Vorgeschichte des Planckschen*

Strahlungsgesetzes : Messungen und Theorien der spektralen Energieverteilung bis zur Begründung der Quantenhypothese (Wiesbaden : F. Steiner, 1970).

(2) 赤外部スペクトルの実験研究を, 原子構造論の研究の一環としてとらえた科学史研究. 代表的研究: 藤崎千代子「赤外帯スペクトルの起源に関する研究, 1880-1920(I) (1880-1911)」『科学史研究』No.145(1983年), 1-9頁.

(3) 赤外部スペクトルの実験研究を, 電子の研究の前史としてとらえた科学史研究. 代表的研究: William McGucken, *Nineteenth-Century Spectroscopy Development of the Understanding of Spectra 1802-1897* (The Johns Hopkins Press, 1969).

19世紀末の赤外部スペクトルの実験研究に対して, 上記のような先行研究が存在していたが, それらのほとんどが量子論や原子構造論などの理論研究の発展を探ることに注目していたため, 実験研究そのものの発展過程の分析は十分ではなかった.

2. 研究の目的

本研究は, 上記の先行研究の傾向を踏まえて, 19世紀末の赤外部スペクトル研究の実験研究に関する歴史的分析を行った. 分析の目的は次の点を明らかにすることである.

(1) 赤外部スペクトルの実験研究における目的, 機器, 機器構成(機器の組み合わせ)の変遷. その変遷を通して見えてくる, 赤外部輻射の実験研究におけるドイツ科学の興隆の理由.

(2) 赤外部スペクトルの実験研究の貢献における, ドイツとアメリカの科学者の「偏在」の理由. 藤崎千代子は, その主な理由を, 当時期のスペクトル測定機器の開発に貢献したアメリカの Samuel P.

Langley(1834-1906), ドイツの Ernst Pringsheim(1859-1917)の存在が大きかったとしているが, この見解に対する検討.

(3) 19世紀末の赤外部スペクトル研究と, 19世紀後半のドイツとアメリカの科学研究の発展との関係性.

3. 研究の方法

(1) 当初, 国内外のアーカイブ資料を利用して, 19世紀後半の実験科学者たちの研究動向を多角的に検討する予定であったが, 先行研究において, 実験科学者自身の公刊論文でさえ十分に活用されてきたとは言えず, その活用を最優先に検討を進めた.

(2) 実験研究の発展の分析にあたり, 「実験プログラム」という独自の概念を用いた. 「実験プログラム」とは, 実験家もしくは実験グループによる, 一定の目的をもつ実験研究の一連の構成を意味する.

(3) 本研究の分析対象は, 赤外部スペクトルと重なる赤外部輻射線(熱輻射線)の実験研究を主としている.

4. 研究成果

(1) 1880年代の赤外部輻射の実験研究におけるアメリカの Langley の基礎的研究とドイツの研究動向

19世紀を通して, 光のスペクトルと輻射熱に関する研究が発展し, 太陽からの輻射線, 加熱した化学物質からの輻射線などを包括するスペクトル研究が展開されていた. 1880年代のアメリカの Langley の太陽光に関する研究が, データの比較対象として, 人工輻射源の光のエネルギー分布研究に関わっていたように, 当時の太陽光研究は, 地上の実験室で実施できる分光学研究や熱輻射研究と分野的に重なっていた. 1880年代後半のドイツにおける W. A. Michelson (1860-1927)と H. F. Weber (1843-1912)の研

究も、互いにアプローチは異なるものの、太陽光および固体スペクトルについて行われ、広範に一般化できるエネルギー分布式の導出が試みられていた。

1880年代までの光および熱線に関する研究は、熱輻射線を熱電気的および光学的に検出する手段、熱輻射線の放射と吸収への考察、気体および固体のスペクトルに関する研究、光をより精確に分光する方法、熱輻射のエネルギー分布法則への探究などを生み出した。そして、1880年代においては、当時の熱輻射線の測定方法の成果を十分に活用し、ボロメーターという新しいタイプの熱輻射測定器と、プリズムと回折格子の両者を使用する分光系を融合した Langley の機器構成が登場した。それは、輻射源からの輻射を回折格子で分光し、各スペクトル波長をプリズムで測り、当該のスペクトル強度をボロメーターで測定するという機器構成だった。Langley らの研究は、1890年代に入って本格化するエネルギー分布式導出の実験研究に対して、研究の方向性、実験データ、実験機器、機器構成等に関する重要な材料を提供することになった。

また、19世紀末ドイツでは、分光学・天文学とは異なる電磁波の関連実験 Helmholtz 学派の下で盛んに行われ、熱輻射線を電磁波としてとらえる実験技術も高まっていた。さらに、電気系学科や PTR (帝国物理工学研究所) の設立に象徴されるように、産業に関連する実験研究を支える体制が整いつつあったドイツでは、熱輻射を含む実験活動が飛躍していた。19世紀末の熱輻射の実験研究は、熱輻射理論の研究と同様、19世紀を通して考察・分析・研究された諸成果を活用し、当時の社会的背景と交わりながら活発化していた。

(2) 1890年代の赤外部輻射線の実験研究に

おけるドイツの台頭

1890年代における熱輻射(赤外部輻射)の実験研究では、ドイツの研究活動が中心となった。その中心は、ハノーファーの Friedrich Paschen (1865-1947)、ベルリンの Otto Lummer (1860-1925)、Heinrich Rubens (1865-1922)であった。他にもドイツではなくアメリカの E. F. Reid, C. E. Mendenhall, F. A. Saunders といった科学者が熱輻射実験に携わったが、熱輻射のエネルギー分布を高精度・広範囲に測定できたのはドイツの三者を中心とする各研究グループだった。

Paschen は弟子の Wanner と共同研究を行うこともあったが、ほとんどの場合、単独で研究を行い、ハノーファーにおける熱輻射実験の中心人物だった。

Lummer は、Ferdinand Kurlbaum (1857-1927)や Pringsheim らと共同して熱輻射関連の研究に取り組み、ベルリンの PTR を主な活動の場とする研究の中心にいた。

Rubens は、Snow, Nichols, Trowbridge, Aschkinass ら数多くのアメリカ人・ドイツ人研究者たちとの共同研究を経て、Kurlbaum とともに残留線の熱輻射実験を行い、ベルリンの大学施設を主な活動の場とする研究の中心人物だった。

Paschen, Lummer, Rubens は、異なる場所・環境で共同研究者と熱輻射関連研究を進めて、特徴的な研究内容・測定結果を提供した。

(3) 三者の実験研究の相互交流

1880年代末-1900年における Paschen, Lummer, Rubens らの三者の実験研究には、1880年代末-1890年代初頭(始動期)、1890年代中頃(準備期)、1890年代後半-1900年(確立期)の各時期に異なる段階が見られた。三者の実験研究は、1880年代末-1890年代

初頭の始動期において、その目的を違えていたが、輻射測定器の開発・研究を通して交流する部分をもっていた。1890年代中頃の準備期になると、分光系の機能に関わる分散式の導出や、空洞輻射の研究をめぐって関連し合い、三者間の交流する度合いが強まっていた。1890年代後半-1900年の確立期には、各目的にとって熱輻射のエネルギー分布測定が有効な手だてとなり、三者の研究が分布法則の検証に関与するようになっていた。

この展開から見えてくる点は、三者の研究が目的を通して徐々に近づき合う現象に加えて、それを引きおこしている作用因に輻射測定器、分光系、輻射源といった実験機器が深く関わっていることである。これは、研究に携わる科学者の意図から離れて、実験機器を介したつながりが、三方向の異なる研究間の距離を縮め、一つの方向に関連づけられるという過程である。熱輻射実験の発展過程には、実験活動ならでは展開があった。

(4) Paschen の実験プログラム

1890年代後半-1900年の確立期に、三者の研究は輻射法則の導出・検証を目指すようになっていた。だが、それまでの目的と経緯の違いから、彼らの取り組む実験プログラムは異なっていた。

Paschen の実験プログラムは、彼の信頼する Wien 分布式の導出・検証に向けて、それまで採用してきた「輻射源 - プリズム - ボロメーター」という機器構成のさらなる安定化・高精度化を目指し、同構成の細部に改良を施すものだった。とりわけ、1890年代前半を通して十分に研究されてこなかった輻射源を集中的に研究した。

Paschen は、法則性を見出すことを追求し、1896年時点で有望視された Wien 分布式 (Wien 法則) の肯定的検証にこだわり、Wien 式からずれる実験結果を誤差とみなしがち

だった。これは、彼の上司の H. Kayser (1853-1940) と C. Runge (1856-1927) が取り組んでいた、可視分光現象から普遍的なスペクトル式 (法則性) を導く研究の傾向を強く継承したものと見える。Paschen の採用した実験プログラムには、彼が熱輻射研究に求めたものが表現されていた。

(5) Lummer の実験プログラム

Lummer は熱輻射分布の測定結果を提出し始めるのは 1899 年以降と遅いが、理想的な光源・熱源に適う空洞輻射源の開発を目的とする実験プログラムをもっていた。

Lummer は標準研究に従事する者らしく、確実に見込みのある実験機器・機器構成を基本とし、そこから得られる実験結果に忠実であろうとした。Paschen と同様、Lummer が熱輻射研究に求めたものが、彼の実験プログラムに表現されていた。

(6) Rubens の実験プログラム

Rubens は、遠赤外線の研究を通して Maxwell 理論の赤外部への適用を目指す彼独自の実験プログラムをもっていた。

Rubens は、金属の選択反射能測定に始まり、電波の偏波や反射の測定、赤外線の分散・屈折・偏波の測定、各種プリズムの分散研究、残留線の研究を経るなかで、一貫して、赤外線に対する Maxwell 理論の適用を確かめる研究を進め、1890年代末には、より電波領域に近い遠赤外部の輻射線の検出と遠赤外線の輻射実験に成功した。

この一連の実験のために、Rubens は見込みのある実験機器・機器構成を果敢に採用し、それらの機器・機器構成を研究していた。また、未知の波長範囲の測定を実現するために、既存とは異なる機器構成を躊躇せず採用した。その取り組む姿勢は終始変わらず、見定める道具立てはできる限り利用した。このような Rubens の実験プログラムの傾向は、ド

イッ人・アメリカ人研究者との多彩で積極的な彼の共同研究と相通じるものがある。1900年までを見る限り、Rubens の変更された機器構成のすべてが良好だったわけではないが、長波長に向けて新規の道具立てを導入し続ける姿勢は、残留線発見を生み、長波長向け放射計の開発につながった。

このような実験プログラムをとった Rubens は、1899 年に取り組み始めた熱放射分布測定に即応し、Lummer らと同型の空洞放射源を使いこなし、理論家 Planck とうまく協調した。上述と同様、Rubens の求め続けたものが、彼の採用した実験プログラムに表現されていた。

(7) 実験プログラムの相互交流

1880 年代末-1900 年の熱放射実験の研究には、Paschen、Lummer、Rubens を中心にした実験プログラムがあり、そのプログラム間には、可視・赤外分光測定、標準研究、遠赤外線測定などに関わる、彼らの研究経緯や実験目的に基づく違いが存在していた。その違いは、放射測定器、分光系、放射源の選択・開発や、それらの組み合わせである機器構成にも表れていた。そして、1900 年に近づくにしたがって、相異なる意図・目的の三方向の研究は、扱われる実験機器・機器構成を通して、熱放射分布測定という一つの方向へ向かった。

だが、三者の研究は一つに融合するのではなく、あくまで、実験の目的、実験機器の選択や機器構成の採用に関わる実験プログラムの相違によって、異なる視点で分布測定に向かっていた。その現れとして、異なる波長・温度の測定範囲のエネルギー分布のデータ提出が行われ、それが結果的に相補的な関係を築くことにもつながった。融合しなかった三者の研究は、20 世紀に入り、可視分光測定、標準研究、赤外線測定という各々の道

に向けて再び展開していた。つまり、19 世紀末の熱放射実験の展開は、異なる実験プログラムをもつ研究が融合までには至らないが重なり合い、特定の目的に対して相補い合っていく道程であり、実験機器や機器構成というモノの扱いを通して先導された実験プログラムの相互交流の展開であった。

(8) ドイツにおける赤外部放射線研究の興隆とアメリカ科学の貢献

以上の分析によって、19 世紀末ドイツでなぜ赤外部放射研究が興隆したかという問いに関しては、一つの答えを与えることができる。それは、産業界からの影響を重く見る、天野清、D. Cahan らの見解、純粋科学の伝統を主な要因と見る H. Kangro の見解に加えて、当時の実験プログラムを鍵にした相互交流や実験データを補い合う関係が生まれた実験的展開に基づく回答である。

19 世紀末ドイツを中心に展開され、複数の実験プログラムを交えた熱放射実験の研究は、広範囲で高精度の実験データを提供しただけでなく、Planck 熱放射論の形成の基盤の一部となり、理論研究の新たな展開も生み出したのである。

また、アメリカ科学に関しては、1880 年代の Langley に代表される放射測定器および機器構成の基礎的研究への貢献に加えて、Snow、Nichols、Trowbridge らアメリカ人研究者との積極的な共同研究を行った Rubens の実験プログラムを通して、19 世紀末ドイツの赤外部放射の実験プログラムの相互交流に欠かせない存在となっていた。

ただし、19 世紀末アメリカは科学の制度化の発展途上だったため、アメリカの科学者の多くは、天文物理学的研究も行うが、飛行機の研究などにも携わる Langley のように、アマチュア的の科学者であった。当時のアメリカは、産業発展を背景に精密な工作機器を駆使

して、Rowland の回折格子、Snow のガルヴァノメーター、Nichols のラジオメーターなどの高度な実験機器を提供したが、ドイツと異なり、組織的な科学活動や体系的な研究基盤を欠いていたため、ドイツの赤外部輻射研究の一部に組み込まれて初めて、当該分野のアメリカ科学はその成果を十分に生かすことができた。

19 世紀末の赤外部輻射の実験研究を事例にして言うならば、各種産業を梃子に経済大国になりつつあった 19 世紀末のドイツとアメリカの科学は、産業に係る電気、熱、光の関連機器を活用して、優れた実験機器の作り手となったが、19 世紀初めから科学の研究基盤を築いてきたドイツでは、それらの成果の一部を赤外部輻射線の実験研究に活用して、理論研究とも相互作用し、Planck 熱輻射論やエネルギー量子誕生の契機をつくった。それに対して、当時のアメリカでは、科学の研究基盤が十分でなく、優れた実験機器を科学研究に直接活かす環境が発展していなかった。

藤崎千代子の指摘した、ドイツのアメリカの「偏在」は確かだとしても、その理由は Pringsheim と Langley への依拠で済むのではなく、確かな研究基盤を背景に、赤外部スペクトルの実験研究の体系的な発展を支えたドイツの科学に対して、アメリカの科学は実験機器や機器構成の基礎的研究を部分的に支えたのだった。ドイツとアメリカとは、それまでの科学の異なる発展の仕方を背景に、「偏在」の質が異なっていたのである。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 3 件)

(1) 小長谷大介「1890 年代後半における熱輻射実験の研究状況(2) - ルーベンスの研究を中心にして - 」『龍谷紀要』第 29 巻第 2 号

(2008 年) 139-157 頁. 査読有(ただし学内誌)。

(2) 小長谷大介「赤外部波長への挑戦 - 1890 年代前半におけるルーベンスの熱輻射研究をめぐって - 」『龍谷紀要』第 29 巻第 1 号

(2007 年) 93-113 頁. 査読有(ただし学内誌)。

(3) 小長谷大介「1890 年代の熱輻射分布法則導出におけるパッシェンの実験研究の先導的役割」『科学史研究』第 45 巻 (No.240)(2006 年) 229-240 頁. 査読有。

〔学会発表〕(計 5 件)

(1) Daisuke KONAGAYA “The Role of Instruments in the Development of Black-Body Research,” *XXVII Symposium of the Scientific Instrument Commission, Museum of Science, University of Lisbon, Portugal, on 20. September 2008.*

(2) 小長谷大介「H. Rubens の熱輻射研究における特徴」日本物理学会第 63 回年次大会(近畿大学, 2008 年 3 月 24 日)。

(3) 小長谷大介「H. Rubens の熱輻射実験」日本物理学会 2007 年春季大会(鹿児島大学, 2007 年 3 月 21 日)。

(4) 小長谷大介「トレーディング・ゾーンとしてのパッシェン」第 10 回科学史西日本研究大会(大阪市立大学, 2006 年 11 月 4 日)。

(5) 小長谷大介「19 世紀末における熱輻射測定の際成過程について - 異なるグラフ表示に注目して - 」日本科学史学会第 53 回年会(東洋大学, 2006 年 5 月 27 日)。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小長谷 大介 (KONAGAYA DAISUKE)
龍谷大学 経営学部 准教授
研究者番号: 70331999