

歴史シリーズ

理研の加速器 —1910年代から現在まで—(その1)

上坪 宏道*

Accelerators in RIKEN —from 1910's to the present—(Part One)

Hiromichi KAMITSUBO*

1. はじめに

理化学研究所は2003年10月1日から独立行政法人になり、この機会に特殊法人時代の歴史をまとめることになった。戦前の歴史にも触れて「理研精神八十八年」として出版されたが、その間加速器関係の部分を担当して試料を調べる日が続いた。ちょうどその時に加速器学会誌編集部から執筆の依頼を受けたので、理研加速器の歴史を紹介することにした。できれば多様な加速器が何を目指して作られ、どんな研究を行ったかに留意した加速器史にしたいと思っている。

理研の加速器の歴史は1935年(昭和10年)、西川(正治)研究室と仁科(芳雄)研究室が共同して原子核実験室をつくり、サイクロトロンとコッククロフト・ウォルトン装置の建設を決めたときから始めるのが普通である。しかし、二つの研究室がつくった背景と原子核実験室を、それが持つ意義に筆者は興味を引かれた。理研が発足した1910年代から1930年代に至る時期は、ヨーロッパを中心に量子力学が生み出され、研究の対象が原子の構造から原子核の解明、物質の原子構造の研究に発展した時代であり、新しい研究手法や装置が続々と発明されている。この時期に設立された理研は、東京大学をはじめとする新進気鋭の帝国大学教授を結集してヨーロッパやアメリカとほぼ互角に最先端の研究を進めていた。加速器による研究もその流れに乗っている。その歴史からは、欧米から遠く離れた極東の地で若い研究者たちが新しい学問に賭けた情熱を読み取ることができる。加速器史の前史としてその時代の紹介から始めるのは、それが高電圧装置利用の展開の物語だからである。

理研の発足と長岡(半太郎)研究室設立が1917年、

西川研究室と高嶺(俊夫)研究室の設立が1922年で仁科研究室は1931年に発足した。そこでまず西川研究室について述べ、次いで仁科研究室を取り上げたい。参考までに付け加えると、これらの研究室がどのような研究を進めていたかが1938年(昭和13年)12月にまとめられた「当所既往に於ける研究成績の梗概」¹⁾として纏められている。なお、以下、文中では敬称は省略した。

2. 我が国における加速器利用研究の黎明期 —量子論研究事始の時代—

加速器は1920年代後半から多くの発明を重ねて今日まで発展してきたが、その前段階として静電高圧発生器を用いた研究が行われ、20世紀の新しい物理学を生み出してきた。ここでは静電高圧発生器を用いて、X線や電子線による物質構造解析から原子核研究へと進んできた西川研究室の軌跡を紹介する。

2.1 X線回折

「明治から大正に変わった年(1912年)の頃であった。東大物理教室のコロキウムを三つの新発見が賑わっていた。一つはウィルソンの霧箱によるX線の飛跡の写真、今ひとつはクーリッジの真空管に於ける熱電子の応用、第三はラウエの結晶によるX線の干渉写真であった。丁度その頃教室には若い元気な3先生が居られ、英国で放射能作学を修めて帰朝間もなかった木下先生は第一の問題に興味をもたれ、藤先生は第二の応用電気問題に、そして第三の問題にとくに注目されたのは寺田先生であった」と西川は書いている²⁾。因みに木下はRutherfordの下で α 線の写真作用を発見(1909年)して帰国して間が無かった。

1912年6月LaueらによるX線回折実験の論文が

* 理化学研究所
RIKEN
(E-mail: hkamitsubo@riken.jp)

発表された。この報が齎されると、寺田寅彦が岩塩や雲母など鉱物結晶を用いた実験を開始した。この実験はラウエ斑点を写真乾板に記録するだけではなく、X線中で岩塩の結晶や雲母を回転させ、蛍光板に映るラウエ斑点の変化を直接観測しようという独創的なものであった。ところが当時の東大物理教室には教室実験用の旧式なX線管しかなく、寺田は医学部で不要になったX線管を貰い受けて再利用し、テプラー起電機を用いて強力なX線を発生させて実験した。この実験で寺田は、ラウエ斑点が「結晶格子中の網平面」からのX線の反射であることを示しその法則性を、W. L. Braggの研究(1912年11月)とは全く独立に見出している。実験は1913年春には成功してNature(4月10日号)に掲載され、また、5月の日本数物学会で発表された。ヨーロッパで行われていればノーベル賞が与えられてもおかしくない研究であった。しかし寺田は日本の研究条件の悪さや研究結果の通報の不利なのを嘆いてこの研究を中止してしまい、その後は外国のやっていない独特の研究を行っていった。

当時既に、X線用の高電圧発生装置として、電磁誘導を利用する誘導コイル(induction coil, 当時感応コイルと呼ばれた)が用いられており、その一次側に直流を流し断続器で電流回路を遮断して二次側に高電圧を発生させていた。わが国では1903年に島津製作所が感応コイル式のX線装置を開発し、その後多くの病院が感応コイル式X線装置を導入していた。しかし、寺田が用いていたのは静電誘導を利用したテプラー起電機で、回転する絶縁物の円盤に貼り付けた金属板に静電誘導で電荷を載せて高圧側に運ぶ装置であり、1885年に発明されて陰極線やX線の発見にも用いられた。多数の回転板をモーターで1秒間に6~17回回転させた静電高圧発生装置もあり、寺田はNatureに発表した論文³⁾で、X線管は水冷式の直径20 cmのMueller管を、また、高電圧発生には回転板60枚のテプラー起電機を用いたと述べている。

この実験が行われていたある夜、物理教室の地下廊下を歩いていた西川は寺田に呼び止められ、X線管の遮蔽になっている鉛の衝立のところへ連れて行かれた。衝立には中央に径1センチぐらいの円孔が開いておりそこからX線を取り出すようになっていた。そこで「先生は片手に岩塩のかなり大きい結晶片を掴んでその孔のすぐ前に翳し、片手に持たれた蛍光版を少し離して覗きながら、(ラウエ斑点が)そら見えるだろうと言われた」と西川は追憶している²⁾。この夜、成功したばかりの実験を見せられた西川が強い感銘を受けたことは想像に難くない。そのすぐ後に

寺田から誘いを受けた西川は、大学院で木下李吉の下で行っていた大気中の放射能の研究⁴⁾からX線回折の研究に転向したのである。回折実験は順調に進み、1913年秋には層状構造、遷移構造、粒子状構造を持った物質のX線回折の研究成果を発表し、また、スピネル属の構造を持つ結晶構造など重要な研究を行っている。これらの実験には水冷式白金対陰極をもつX線管と20枚の回転板のテプラー起電機が用いられている⁵⁾。

1917年に理研が発足すると西川は研究員になり、3年間アメリカ、ヨーロッパに派遣された。その時ロンドンのW. H. Braggのもとにも滞在し、彼が開発したX線分光計で実験を行うとともに、1台購入して帰国した。帰国後1922年には西川研究室が発足し、仁田勇など多くの人材が集まって本格的な物質構造の研究を始めて、西川研究室はわが国におけるX線回折研究の源流となった。また、医学部を卒業した中泉正徳が西川研究室に入り、イオン化X線分光計を用いた生体組織の微量X線化学分析を行うなど、X線応用にも力を注いでいる。

2.2 電子線回折

1920年代は量子力学が確立された時期である。de Broglieの物質波概念(1923)、Schroedingerの波動力学(1926)が相次いで発表され、1927年3月にはC. DavissonとL. H. Germer⁶⁾がニッケルの単結晶に遅い電子をあてて電子回折の実験的検証を発表、G. P. Thomson⁷⁾は薄膜に速い電子を照射して回折像を測定して電子の波動性を実証した(1927年6月)。

この頃東大大学院に進学し木下李吉の下で研究していた菊池正士は、Davissonらの実験に触発されて西川研究室に入り電子回折の実験を行うことにした(1928年1月頃)。初めはDavissonに倣って低エネルギー電子による回折実験を単結晶性試料で行うことを計画したが、実験を始めると真空のトラブルが続いて実験は難航した。そこで西川と相談して1~9万ボルト程度の速い電子を用いる回折実験に計画を変更して実験を再開した。この後は実験が極めて順調に進み、1928年5月には第一報をNatureに発表している⁸⁾。

菊池が実験を始める前にどれだけDavissonやThomsonの装置について情報を得ていたかは分からない。Davissonの実験の詳細は1927年12月発行のPhysical Review⁹⁾に掲載され、Thomsonの装置は1928年5月発行のProc. Royal Soc. London¹⁰⁾に掲載されている。当時の郵便事情などから考えると、何れも菊池の実験装置製作には間にあわず、Natureに発表された論文から装置の概要を推測したのかも知れな

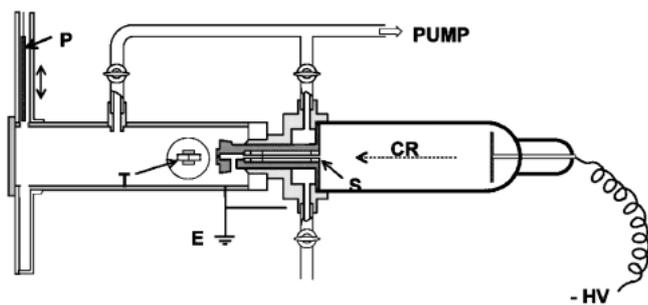


図1 Thomsonの実験装置

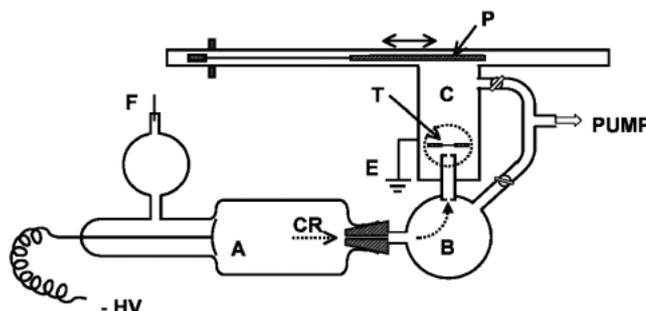


図2 菊池の実験装置

い。ベル研究所の Davisson は新たに「電子銃」を開発して 200 V 以下の加速エネルギーで実験を行っている。菊池の最初の計画では電子銃を用いる予定だったのかどうかは不明であるが、翌 1929 年 11 月の論文¹¹⁾には、実験装置の改良点は「gas tube」を「electron tube」に変えたことと書かれているので、かなり早い時期から熱電子源（電子銃）が用いられたのであろう。

Thomson と菊池の実験がどのように行われたかを見ると、当時、西川研究室の実験技術が世界の最先端であったことが分かる。両者の実験は電子線回折の実証を目指したものである。両者とも陰極線管を使ってエネルギーの揃った平行な電子ビームをつくり、試料に入射して回折波の測定を行う装置を考案した。図1は Thomson の実験装置の概念図である。マイナス高電圧により陰極線管内で生成・加速された電子（陰極線）CR は、内径が 0.23 mm、長さ 6 cm のスリット S を通って細くて平行な電子ビームになり、薄膜試料 T に垂直入射して回折される。透過波と回折波は写真乾板 P（図では収納部に入っている）に記録される。高電圧の絶対値は径 4 cm のアルミ球のスパークギャップを測って校正しているが、5% 程度の誤差を認めている。写真乾板 P の移動に磁石を使っているので、その影響を除くためスリット S には鉄の磁気遮蔽を施したほか、電子ビームエネルギーの一様性はスリットと写真乾板との間に磁石を置いて電子ビームを偏向させて確認したとしている。なお、電子エネルギー 3.9 keV から 16.5 keV でセルロイド膜、アルミ箔および金箔について行ったが、Thomson の最初の論文はセルロイドの実験結果の報告である。

菊池の実験¹²⁾は、エネルギー分解能の良い高エネルギー電子ビームを使用し、試料に単結晶雲母の極薄膜を用いている。また、10 keV から 85 keV と広いエネルギー範囲で測定し、数 mA の放電電流で陰極線を生成し 20 秒から 2 分程度で鮮明な回折像を撮影

している。実験では電子の波動性を実証しただけでなく、菊池線や菊池バンドなど電子回折固有の現象を見出すなど最も優れた成果を挙げている。

実験装置を図2に示した。理研の工作係が製作したもので、陰極線管 A で生成された電子ビームは、陽極 K の中央に開けられた直径 3 mm、長さ 3 cm の小孔を通り、チャンバー B で一様磁場により 90° 曲げられた後スリット S（7 cm 離れた口径 0.5 mm の二つの小孔）を通過する。C は電子カメラで、試料ホルダー T に取り付けられた極薄膜雲母に入射した電子の透過像と回折像を写真乾板 P に記録する。T は外部から G を通して回転できるようになっており、電子ビームが試料に対して任意の角度で斜入射できる。一方、電子エネルギーを低くするため高圧電源電圧を下げると放電が不安定になる。それを避けるには陰極線管内の圧力を上げる必要があり、そのために取り付けたのが左側のパラジウム管下である。金属 Pd は白熱すると水素を通す性質があるので、パラジウム管を加熱して管内の圧力を上げ低電圧で放電が起こるようにした。なお、電子エネルギーは偏向用ソレノイドの電流値で決めているので、相対的な精度は極めて高い。この装置全体は高圧電源を除いて卓上に載る小さいものであったが、電子を 100 keV まで加速し、偏向磁石でエネルギー分解した電子ビームを実験に用いた「加速器利用実験」である。

菊池はこの年内にほぼ研究の区切りをつけ、翌 1929 年春にヨーロッパに留学したが、電子線回折の研究は西川研究室で続けられた。当初は篠原健一、山口太郎等が行い、やや遅れて三宅静雄、上田良二が加わってわが国の電子線回折や電子顕微鏡の発展の基礎を築いた。

菊池は 1931 年 6 月に帰国し、西川研究室で電子回折の研究を再開したが、1934 年 4 月に新設の大阪大学教授に赴任した。大阪大学ではすぐコッククロフト・ウォルトン装置を作り、すぐに、D+D 中性子を

用いた原子核実験を行っている。

2.3 原子核研究

1932年にRuppが電子の二重散乱で異方性を見出しThomsonが160 kVの実験で異方性を否定すると、西川研究室でも高エネルギー電子の偏極実験を行うことになった。この頃になると、西川研究室も150 kVの変圧器を手に入れていたようで、これをGreinacher式（倍圧整流方式）にして300 kVまで出すための改造が始まった。その改造を担当した鳩山道夫は「主変圧器はそのまま整流管を2本使うのですが、変圧器の一次側を150 kVの電位に保つので全体を絶縁架台の上にせなければなりません。（中略）一年ぐらい掛けて電源ができましたが、実際はケノトロン（整流管）の公称定格150 kVが実は逆耐圧のことで、実際は直流電圧の2倍が逆電圧として掛かりますから、結局安全電圧は150 kV、少し無理して200 kVそこそこが限度でしたが、当時としては最高エネルギーの電子線でした」と記している¹³⁾。なお、偏極実験は最高190 kVまでの実験を行ったが、結果は何らの異方性も確認できなかった¹⁴⁾。この静電高圧装置はこの後300 kVの高圧装置と呼ばれている。

1932年は核物理にとって「奇跡の年」である。Chadowickによる中性子の発見（2月）、Ureyの重水素の発見（2月）、CockcroftとWaltonによる人工加速粒子を使った核壊変実験（4月）、Andersonによる陽電子の発見（8月）と続いている。一方、1928年12月、7年余りのヨーロッパ滞在を終えて仁科芳雄が帰国した。理研に仁科研究室が発足するのはその2年余り後の1931年7月である。

1932年11月に仁科は西川研究室と組んで原子物理学研究会を結成している。ここで原子核研究を進めるための加速器の検討が行われたのであろう、篠原健一は西川の指示で1933年1月に芝浦製作所に行き、サイクロトロン建設に必要な電磁石等の製作経費を尋ねたと書いている¹⁵⁾。1934年秋、西川はヨーロッパに出張しローマでFermiを訪問した。そこで多忙で会えなかったFermiの代りに案内したSegreから、緩中性子による原子核反応について説明を受けて強く感銘し、その日に仁科宛の手紙を書いた¹⁶⁾。この中で西川は簡単なスケッチを書いてFermiらの実験を説明し、遅い中性子が引き起こす不思議な現象を早く帰ってやってみようと言っている。これ以後、西川研究室では緩中性子の実験を重点的に行っている。

1934年は日本で原子核壊変実験が始まった年である。仁科、嵯峨根遼吉、竹内証、富田良次は、癌研究会から寄付されたラジウム5グラムから出るRnの α

線をAlにあてて³⁰Pをつくり、その β 線スペクトルをWilson霧函で測定して β 線のエネルギーを決めた¹⁷⁾。更に300 kV高圧電源で陽子を加速しWilson霧函で測定する実験も開始し¹⁸⁾、D+D反応で得られる中性子を減速して緩中性子にし、種々の物質に照射したときに出るガンマを計測した¹⁹⁾。大阪大学では菊池らがコッククロフト・ウォルトン装置で原子核壊変の実験及びD+D反応で生成した中性子による実験を開始した。また、台北帝大では荒勝文策らが最初の原子核壊変実験に成功している。西川研究室では篠原健一、鳩山道夫、矢崎為一、百田光雄、木村一治等が主に緩中性子による原子核実験を行っていた。この頃理研で行われていた加速器の研究開発では、長岡研究室の杉浦義勝のプロトン源の開発（1933）、矢崎為一のイオン高周波加速（イオン線形加速器）の研究（1934, 1935）、杉浦、皆川理によるLiイオンの加速とLi+Li反応を確かめる研究（1935, 1936）が科学講演会²⁰⁾で発表されているが、詳細は明らかでない。しかし実験技術のレベルの高さや経験の深さから見て、西川研究室が当時の理研の加速器開発に重要な役割を果たしていることは確かである。また、後で述べるように、遅い中性子の結晶による散乱（木村一治ら）や生物照射（中泉ら）のような多角的な研究も西川研究室で行われており、理研における加速器の多目的利用の源流になった。

1935年に西川研究室は仁科研究室と共同して原子核実験室を設立し、サイクロトロン2基と1 MeVコッククロフト・ウォルトン装置の建設を始めた。この後のことは次号以降に述べる。

参考文献

- 1) 理化学研究所彙報（以下「彙報」という）第17輯第12号（1938）883頁。
- 2) 西川正治、ラウエ斑点、思想（岩波書店）「寺田寅彦追悼号」（1936）、西川正治先生 人と業績：（1982）、（以下「人と業績」という）に収録。
- 3) T. Terada, X-Rays and Crystals, *Nature* **91** (1913) 135.
- 4) S. Kinoshita, S. Nishikawa and S. Ono, On the Amount of the Radioactive Products in the Atmosphere, *Phil. Mag.* VI, 22 (1911).
- 5) S. Nishikawa and S. Ono, Transmission of X-Rays through Fibrous, Lamellar and Granular Substances, *Proc. Tokyo Math-Phys. Soc.* II, **7** (1913) 131-138.
- 6) C. Davisson and L. H. Germer, The Scattering of Electrons by a Single Crystal of Nickel, *Nature* **119** (1927) 558.
- 7) G. P. Thomson and A. Reid, Diffraction of Cathode Rays by a Thin Film, *Nature* **119** (1927) 890.

- 8) S. Nishikawa and S. Kikuchi, Diffraction of Cathode Rays by Calcite: *Nature* **122** (1928) 726.
- 9) C. Davisson and L. H. Germer, Diffraction of Electrons by a Crystal of Nickel, *Physical Review* **30** (1927) 705.
- 10) G. P. Thomson, Experiments on the Diffraction of Cathode Rays, *Proc. Royal Soc. London* **A117** (1928) 600.
- 11) K. Matukawa and K. Shinohara, A Method of Obtaining the Hull-Debye-Sherrer Pattern of Cathode Rays, *Proc. Phys. Math. Soc. Japan* **12** (1930) 171.
- 12) S. Kikuchi, Diffraction of Cathode Rays by Mica, *Jap. J. of Phys.* **5** (1928) 83.
- 13) 鳩山道夫, 西川研究室の思い出, 「人と業績」224頁.
- 14) M. Hatoyama and M. Kimura, Suggested Polarization of Electrons. *Nature* **135** (1935) 914.
- 15) 篠原健一, 西川先生と原子核研究, 「人と業績」150頁.
- 16) 書簡: 「人と業績」57頁.
- 17) Y. Nishina, R. Sagane, M. Takeuchi and R. Tomita, *Scientific Papers I.P.C.R (SP)* **25** (1934) 1.
- 18) 仁科芳雄, 嵯峨根遼吉, 新聞啓三, 皆川理, 陽子による原子核の破壊, 彙報13輯801頁, 1579頁.
- 19) 仁科芳雄, 新聞啓三, 山崎文雄, 中性子の発生する γ 線の研究, 彙報14輯1292頁.
- 20) 科学講演会のプログラム(発表研究の題目とその簡単な内容)は彙報に掲載されている. 12輯(1933), 13輯(1934), 14輯(1935), 15輯(1936)の記事欄参照.