

## 【論 文】

# 日本における「物質波理論」の受容

Acceptance of Matter Waves Theory in Japan

小 島 智恵子  
KOJIMA Chieko

## 目 次

- 1 はじめに
- 2 de Broglieの物質波概念
  - (1) 1923年のde Broglie理論
  - (2) de Broglieの学位論文
- 3 de Broglie理論の評価
  - (1) 1924年の学位論文審査
  - (2) Einsteinの評価
  - (3) パイロット波理論の評価
- 4 日本におけるde Broglie理論の受容
  - (1) de Broglieの学位論文
    - ①竹内時男の抄訳
    - ②『物理学文献抄 第1輯』
  - (2) 『波動力学研究序説』
    - ①波動力学とde Broglie
    - ②渡辺慧とde Broglie
- 5 おわりに

## 要 旨

フランス人物理学者Louis de Broglie (1892-1987) は、量子力学設立後、コペンハーゲン学派とは距離を置き、量子力学の解釈において異なる立場をとったことから、孤高の人として扱われる傾向がある。またde Broglieの物質波理論に続いてE. Schrödinger (1887-1961) が波動力学を設立したため、de Broglieのオリジナルな物質波理論は、量子

力学の歴史の中に埋もれてしまった。本論文では量子力学史の中で独自の考えを貫いた de Broglie の物質波理論が、日本でどう受容されたのかについて分析する。そして竹内時男 (1893-1944) が、相対性理論と量子論の統一という観点から、日本で最も早い時期に de Broglie の物質波理論に注目し紹介したことを明らかにする。さらに、渡辺慧 (1910-1993) が量子力学研究の中心であったデンマークやドイツではなく、意図的にフランスの de Broglie の物質波理論を日本に紹介したこととその理由について考察する。既存研究では、日本における量子力学の導入全般を研究対象としているが、本論では de Broglie の物質波理論に特化して、その日本での受容を初めて明らかにする<sup>1)</sup>。

## 1 はじめに

量子力学形成に貢献したフランス人物理学者として<sup>2)</sup>、一般には唯一 de Broglie が知られているが、波動力学の端緒となった物質波の理論を提出した de Broglie は、量子力学史の中で異彩を放っている<sup>3)</sup>。その理由は、de Broglie が物理学者としては稀な経歴をもち、当時としては非常に特異な物質波という概念を提出したからである。

de Broglie は、1892年に de Broglie 家の次男として生まれた<sup>4)</sup>。de Broglie 家は、もともとイタリア出身の貴族で、フランスでの家系は1643年に端を発する。Victor Maurice de Broglie (1647-1727) がルイ14世によりフランス元帥に叙されて以来、de Broglie 家は歴代にわたって将軍や大臣を輩出してきた<sup>5)</sup>。このような由緒ある家系出身の de Broglie が科



写真1 エッフェル塔の前に立つ de Broglie

出所 Fondation Louis de Broglie提供

学研究を志したことは、当時の貴族社会においては非常に珍しいことであった。de Broglieは、大学では歴史学を専攻していたが、1911年の第1回ソルベイ会議の報告書を熱心に読み、量子論という新理論の重要性を発見し物理学に転向した<sup>6)</sup>。第一次世界大戦中は、エッフェル塔の無線局に配属され、無線電信に関わり(写真1)<sup>7)</sup>、大戦後1919年から兄Maurice de Broglie(1875-1960)の実験室でX線の研究を開始した。1920年から兄と共著論文を発表したが、その研究でde BroglieはX線の波動・粒子の二重性に直面し、単独論文では光の二重性の問題を扱っていた。そして1923年にde Broglieが発表した3本の論文で、物質粒子も波動性をもつという、いわゆる物質波の概念を提出し、この考えは1924年末に学位論文としてまとめられた。

1923年にde Broglieが初めて物質波概念を提出した論文では、2つの仮説が用いられていた<sup>8)</sup>。1つは物質に光より高速度で伝搬する位相波を伴わせたことである。もう1つは、当時受け入れられていなかったA. Einstein(1879-1955)の光量子説を受け入れただけでなく、それに微小質量を持たせたことである。1923年に発表されたde Broglieの物質波に関する3本の論文は<sup>9)</sup>、1924年末にパリ大学に提出された学位論文「量子論の研究」で統合されたが<sup>10)</sup>、そこでも2つの仮説が前提となっていた。つまりde Broglieの物質波概念は、粒子とそれに伴う位相波が常に共存しているという描像に基づいていたのである。

Einsteinがde Broglieの学位論文を引用したことで<sup>11)</sup>、Schrödingerがそれに注目するようになり<sup>12)</sup>、1926年の波動力学形成に至ったということは周知のことであるが<sup>13)</sup>、1923年にde Broglieが粒子に波動を伴わせるという理論を初めて提出した際には、その考えを受け入れた物理学者は皆無だった<sup>14)</sup>。de Broglieの物質波は1927年にC. Davisson(1881-1958)とL. Germer(1896-1971)によって<sup>15)</sup>、また彼らとは独立にG. P. Thomson(1892-1975)によって電子の回折実験が行われ<sup>16)</sup>、実験的に証明された。一方、波動力学の成立と電子の回折実験は、物質の波動性のみを強調することになり、de Broglieのオリジナルな物質波理論やそこで用いた2つの仮説は歴史の表舞台から消えてしまった。

本論では、まずde Broglieが1923年に初めて提出した物質波理論と1924年のde Broglieの学位論文の内容について説明する。次にその理論が1927年に初めて日本で抄訳された事例として竹内時男の『新力学及波動力学論叢』と同年に抄訳が掲載された『日本数物学会誌』と『物理学文献抄 第1輯』を調べる。最後に、1930年に出版されたde Broglieの*Introduction à l'étude de la Mécanique ondulatoire*の日本語訳『波動力学研究序説』を取り上げ、そこでde Broglieが学位論文と同様の物質波理論を展開していることを示し、翻訳者の渡辺慧が、なぜ波動力学設立後にフランス人物理学者のde Broglieの著作を翻訳したのかという理由を明らかにする。既存研究では日本への量子力学の導入時期<sup>17)</sup>、デンマーク・ドイツに留学後、日本で量子力学を伝えた仁科芳雄(1890-1951)<sup>18)</sup>、杉浦義勝(1895-1960)等の影響や<sup>19)</sup>、A. Sommerfeld(1868-1951)、W. Heisenberg(1901-1976)、P. Dirac(1902-1984)等の来日講義について扱っている<sup>20)</sup>。本論では、日本に量子力学が導入された際の状況をde Broglie理論の受容という観点で分析し、新しい側面を提示する。

## 2 de Broglieの物質波概念

### (1) 1923年のde Broglie理論

de Broglie理論と言えは物質波概念のことであり、今日私たちはその概念が物質の波動性を意味し、物質波の波長 $\lambda$ は、粒子の運動量を $p$ 、プランク定数を $h$ とすれば、以下の式で表されることを知っている。またこの波長 $\lambda$ は、「ド・ブroy波長」とも呼ばれている。

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

しかし、de Broglieが1923年に初めて物質波のアイデアを提出した論文には、この波長の式は出ていなかった。またde Broglieの思考過程には、幾つかの仮説が含まれており、その理論は当時の物理学者にとって簡単に納得できるものではなかった。de Broglieは、1923年に物質波概念に関する3本の論文を発表しているが、最初に物質波の概念を提出した第1論文「波と量子」“Onde et quanta”では、静止質量 $m_0$ の物質粒子に対し、相対論から得られる $E = m_0 c^2$  ( $E$ はエネルギー、 $c$ は光速)と、量子論から得られる $E = h\nu_0$  ( $h$ はプランク定数)の二つのエネルギーを与え、両者を等しいとおいた。

$$m_0 c^2 = h\nu_0 \quad \dots\dots\dots ①$$

de Broglieによれば $\nu_0$ は、粒子がその内部にもつ周期現象の振動数である。次にこの粒子が静止観測者に対し、速度 $v = \beta c$  ( $\beta < 1$ )で運動する際の相対論的変換を調べた。相対論の“動いている時計は遅れる”という関係から、

$$\nu_1 = \nu_0 \sqrt{1 - \beta^2} = \left( \frac{m_0 c^2}{h} \right) \times \sqrt{1 - \beta^2} \quad \dots\dots\dots ②$$

が得られる。一方、相対論によればこの場合の質量は、

$$m = m_0 / \sqrt{1 - \beta^2} \quad \dots\dots\dots ③$$

となるが、これと $mc^2 = h\nu$ から、

$$v = m_0 c^2 / (h \sqrt{1 - \beta^2}) \quad \dots\dots\dots ④$$

を得る。ここで $\nu_1$ と $\nu$ という異なる振動数が出てきたことにde Broglieは長い間悩まされたとのことである<sup>21)</sup>。

そこでde Broglieは、 $\nu$ を粒子と同じ方向に速度 $c/\beta$ で伝わる、粒子に伴った架空波の振動数であると仮定した。de Broglieが架空波ということばを用いたのは、速度が光速よりも速い波動であったからである。さらにde Broglieは、粒子の内部周期現象の位相と架空波の位相が $t = 0$ で一致するならば、任意の時間 $t$ においてもその位相一致は保たれるということを証明した。

これを仮に‘位相一致の法則’とよぶとするならば、de Broglieにとってこの法則の発見は非常に重要であった<sup>22)</sup>。なぜならばde Broglieは‘位相一致の法則’を粒子と波動の

二重性の根本であるとみなし、物質粒子には粒子の内部振動と常に位相が一致している波動が伴っていると解釈したからである。

さらにde Broglieは第1論文の中で、閉じた軌道を光速に近い速度で運動する電子に架空波と位相一致の法則を適用し、それがBohr原子における電子の定常状態を決める条件を満たしていることを示した。

$t = 0$ において、電子は速度  $v = \beta c$  ( $\beta < 1$ ) で、電子に伴う架空波速度  $c/\beta$  で円軌道を回りはじめる。架空波の方が電子よりも先に進むが、軌道を一周した後、時間  $\tau$  で再び電子に追いつくとする。

電子の回転周期を  $T$  とすれば、位相波が時間  $\tau$  で動く距離は、

$$(c/\beta) \times \tau = (c^2/v) \times \tau = v(\tau + T)$$

となるが、これを変形すると、

$$\tau = \left( \frac{v^2}{c^2 - v^2} \right) T = \left\{ \beta^2 / (1 - \beta^2) \right\} T \quad \dots\dots\dots ⑤$$

となる。よって位相波が電子に追いついた際、電子の内部周期現象の位相は、②、⑤より、

$$2\pi\nu_1\tau = (2\pi m_0 c^2/h) \times T \times \frac{\beta^2}{\sqrt{1-\beta^2}} \quad \dots\dots\dots ⑥$$

を得る。ここでde Broglieは、電子の軌道は架空波が電子に追いついたときに、架空波と電子の内部周期現象の位相が一致していること、そのとき位相波は軌道上で共鳴していることを要求し、⑥より次の条件を与えた。

$$\begin{aligned} 2\pi\nu_1\tau &= 2\pi n \\ &= \left( \frac{2\pi m_0 c^2}{h} \right) \times T \times \frac{\beta^2}{\sqrt{1-\beta^2}} \end{aligned}$$

即ち、 $\left( \frac{m_0 \beta^2 c^2}{\sqrt{1-\beta^2}} \right) \times T = nh$  ( $n$ は整数)  $\dots\dots\dots ⑦$

そして⑦の条件が、電子の定常状態に対するEinsteinの量子条件

$$\int_0^T (p_x dx + p_y dy + p_z dz) = nh$$

と同等であることを以下のように証明した。

$$\int_0^T \frac{m_0}{\sqrt{1-\beta^2}} (v_x^2 + v_y^2 + v_z^2) dt = \frac{m_0 \beta^2 c^2}{\sqrt{1-\beta^2}} T = nh$$

第2論文「光量子、回折と干渉」“Quanta de lumière, diffraction et interférences”では、第1論文の架空波の名前を位相波と改め、位相波の群速度が粒子の速度であり、位相波の等位相面への法線で粒子の軌道が決定するとしている。そして粒子が位相波の波長程



度の小さい孔を通過するとき、位相波は回折するので、‘非常に小さな孔を通過する電子は回折現象を現すだろう’と電子の回折実験を予言した。また同論文では、力学におけるMaupertuisの原理と光学におけるFermatの原理との類推から、古典力学に対する新力学は、幾何光学に対する波動光学に相当するとし、波動力学の方向性も示した。

ここで注目すべきことは、de Broglieが自ら提案した光の原子が存在し、それに位相波を伴わせることで、光の干渉現象を説明できると主張している点である。光の原子とは、de Broglieが1922年の「黒体輻射と光量子」“Rayonnement noir et quanta de lumière”で導入したものである<sup>23)</sup>。de Broglieはこの論文で、電磁気学を使わずに、熱力学・運動理論・量子論だけを用いて輻射の問題を扱うことを試みている。そしてde BroglieはEinsteinの光量子説を採用するだけでなく、平衡状態にある輻射を光の原子気体であると見なし、微小質量を与え、それに位相波が伴っていると考えている。つまりde Broglieは、光が物質粒子と同等であるという考えを物質波理論提出以前から抱いていたのである。なお、de Broglieの物質波の第1論文と第2論文の要約は、1923年のNatureにも掲載されている<sup>24)</sup>。

続く第3論文「量子、気体の運動論とFermatの原理」“Les quanta, la théorie cinétique des gaz et le principe de Fermat”においても、de Broglieは、1922年の光の原子を引用し、気体の原子に位相波を伴わせている。そして、位相波の光線は力学的に可能な軌道に一致するとし、第2論文と同様光学と力学のアナロジーを展開している。

このように1923年のde Broglie理論は、1922年に提出した光量子に微小質量を伴わせ光の原子とみなすという彼独自の考えの延長にあった。1923年のde Broglie理論には、de Broglieの物質波概念の本質的な部分がほとんど現れていたが、それらの小編は断片的で飛躍の多い内容であった。またde Broglieの物質波概念は光の原子から発展したものであったので、1923年の論文は「物質波」の理論ではなく「光量子説」に関する理論であると解釈された可能性もある。実際、1924年にde Broglieの1923年の3論文をまとめた英語の論文がPhilosophical Magazineに掲載されているが、その論文タイトルは「光量子理論の試案」となっていた<sup>25)</sup>。

## (2) de Broglieの学位論文

1923年の3本の論文は各々3頁足らずの短い論文であったが、それらは100頁に及ぶ学位論文で体系的にまとめられた。de Broglieの学位論文は1924年11月25日に受理され、1925年に*Annales de Physique*に掲載された。学位論文のタイトルは「量子論の研究」“Recherches sur la théorie des quanta”であり、その目的は物理学の歴史の中で対立してきた粒子的観点と波動的観点の二つを統合し、量子の真の意味を追求することであった。学位論文でも物質と光の原子に位相波を伴わせるというde Broglieの考えは変わらず、光に質量を伴わせる、位相波の速度は光速を超えるという一般には受け入れ難い仮定が前提となっていた。

一方、1923年の論文では、物質波の波長 $\lambda$ を表す式 $\lambda = \frac{h}{p}$ は表れておらず、この関係

は1924年のde Broglieの学位論文で登場する。

学位論文の最終章「統計力学と量子」La mécanique statistique et les quantaでは、電子の位相波が原子の中で定常状態であるように、原子の位相波も気体内部で定常状態にあるはずだということを前提として、気体平衡の問題を統計力学的に扱っている。常に平衡状態にある気体では位相波の共鳴条件が成立しているとみなし、相対論の項を無視するた

めに分子の速度 $v$ を十分小さいとすれば、その位相波の波長は、
$$\lambda = \frac{\frac{c}{\beta}}{\frac{m_0 c^2}{h}} = \frac{h}{m_0 v}$$

であり、共鳴条件は、 $l = n \lambda = \frac{h}{m_0 v}$  ( $n$ は整数) となる。そして、定常波の波長が不連

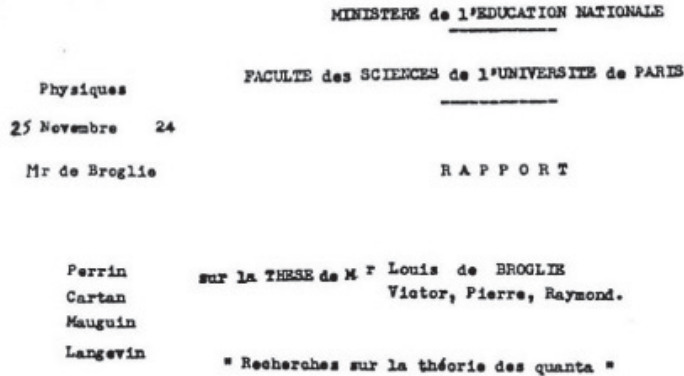
続な値しか取れないので、分子の速度もやはり不連続な値しかとれないだろうと指摘している。このように、ここで初めて有名なド・ブロイ波長の式が登場するのである<sup>26)</sup>。

### 3 de Broglie理論の評価

#### (1) 1924年の学位論文審査

1924年11月24日にパリ大学で受理されたde Broglieの学位論文の審査員は、J. Perrin (1870-1942), E. J. Cartan (1869-1951), C. Mauguin (1878-1958), P. Langevin (1872-1946), であり、学位論文報告書はLangevinが記載した<sup>27)</sup> (写真2)。報告書の冒頭でLangevinは、de Broglieの学位論文は相反する波動光学と量子光学の二つの理論を統合する重要な仕事であると述べている。そしてLangevinはde Broglieの論文が光についての対立する解釈、波動性と粒子性を一新させたと見なしている。つまりLangevinはde Broglieの学位論文で、当時の物理学の問題点であった光の二重性を解明するための新しい方法が提出されたことを高く評価しているのである。現代物理学史においてde Broglieは、物質波概念の提出者、波動力学の先駆者と評価されている。即ち「物質」の波動性の発見が彼の大きな業績である。しかし先に指摘したようにde Broglieが「物質」の波動性に到達した背景には、「光」の本性を探求する研究があった。de Broglieはまず光の二重性を光の原子が波動を伴って共存していることであると解釈し、それを物質の二重性に拡張したのである。報告書の冒頭部分はLangevinがそのことをよく理解していたことを表している。

しかし、de Broglieの学位論文の審査員は、de Broglieが粒子に伴わせた波動の物理的存在には懐疑的であった<sup>28)</sup>。審査員の一人であったMauguinは物質粒子に伴う波の実在を信じなかったと後に述べている<sup>29)</sup>。またF. Perrin (1901-1992) は父親のJ. Perrinがde Broglieの論文審査の際、de Broglieに対して彼の考え(位相波)の実験的確認が可能かど



## 写真2 Langevinの学位論文報告書

出所 Fondation Louis de Broglie提供

うかを尋ねたそうである<sup>30)</sup>。Langevinも報告書で、付随している周期的現象の物理的本質はまだ明らかではないことを認めている<sup>31)</sup>。そして報告書の最後では、de Broglie理論における困難な点として、粒子は波動より遅く動き、波動は光より早く動くことを指摘している。しかしLangevinの場合は、de Broglieの仮定を用いることでBohr原子の定常状態や輻射のゆらぎの問題を説明できることの方に価値を見だし、「その独創的な仕事に対し博士号を与える」と報告書を締めくくっている<sup>32)</sup>。つまり、学位論文の審査段階では、de Broglieの物質波理論はあくまで仮定であり、その存在については支持されていなかったと言える。

de Broglieは、Einsteinの光量子説を受け入れただけでなく、それに質量を伴わせ光の原子に拡張したことで、物質波理論に到達したが、当時ほとんどの物理学者はEinsteinの



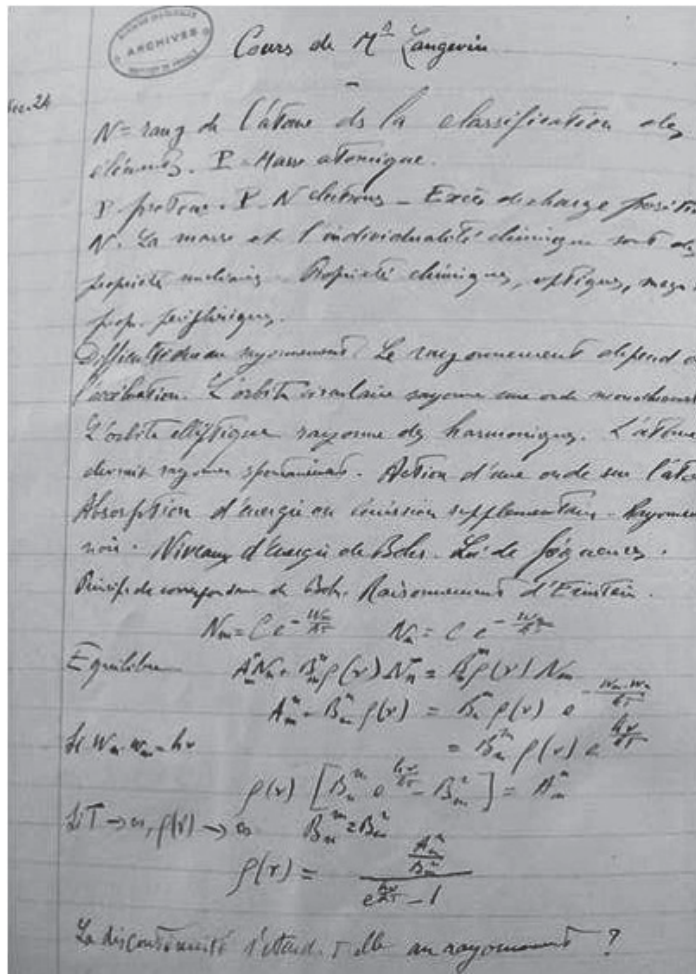


写真3 de Broglieによって取られたLangevinの量子論講義ノート

出所 Fondation Louis de Broglie提供

光量子説に否定的であった<sup>33)</sup>。Einsteinと親交が深かったLangevinも光量子説を受け入れていなかったことは、Langevinの量子論講義ノートにより裏付けられている<sup>34)</sup> (写真3)。1924年のde Broglieの学位論文は、Langevinの光量子説に対する考えを変えさせる契機となり、最終的にLangevinは1927年には光量子説を支持したと考えられる。

## (2) Einsteinの評価

P. Kapitza (1894-1984) は、1924年にパリでLangevinに会った際、Langevinが自分の学生であるde Broglieが素晴らしい研究を行ったと述べ、Kapitzaに電子の波動性について話すようde Broglieに言ったと回想している<sup>35)</sup>。またA. Ioffe (1888-1960) は、1924年4月の第4回ソルベイ会議でLangevinに会った際に、de Broglieの学位論文は興味深い統合

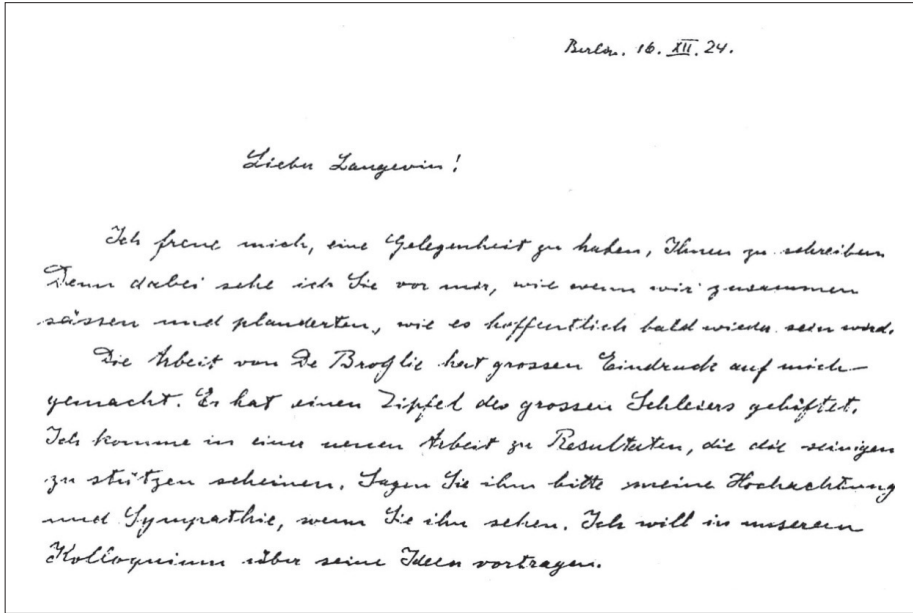


写真4 EinsteinからLangevin宛の手紙

出所 Fondation Louis de Broglie提供

の試みであり、袋小路から脱出する一つの可能であると語ったと述べている<sup>36)</sup>。E. Bauer (1880-1963) も後のインタビューで、1924年以来チューリッヒ大学の物理化学教授をしていたV. Henri (1872-1940) は、Langevinからde Broglieの学位論文を素晴らしい論文であると言って渡されたと答えている<sup>37)</sup>。このようにLangevinはde Broglieの学位論文をフランス国外の物理学者に紹介していたようであるが、Einstein 以外にはそれを高く評価した者はいなかった。

de Broglie の物質波概念の歴史的貢献は、波動力学の端緒となったことであるが、ここではEinsteinが大きな役割を果たした。Langevinが、Einsteinにde Broglieの論文の写しを渡し<sup>38)</sup>、それを読んだEinsteinは、1924年12月16日付のLangevin宛の手紙で、「(de Broglieの学位論文が) 帳の一角を持ち上げた」と称賛した<sup>39)</sup> (写真4)。

さらにEinsteinは、1925年2月に出版された単原子理想気体の第二論文 (Bose統計) において、エネルギーのゆらぎの式における干渉項について論ずる箇所で、de Broglieの学位論文を引用し<sup>40)</sup>、de Broglieのやり方で物質粒子を波動場に対応させた。そしてこのEinsteinの論文を通じてSchrödingerがde Broglieの学位論文を読むことになり<sup>41)</sup>、1926年1月に波動力学の最初の論文「固有値問題としての量子化 (第I部)」を発表し<sup>42)</sup>、続く第II部でde Broglieの学位論文を引用してde Broglieの研究に刺激されたと書いている<sup>43)</sup>。

このような経緯でde Broglieの物質波概念はEinstein、Schrödingerへと伝わったが、波動力学の端緒となったde Broglieのオリジナルな発想は歴史の中に埋もれてしまったと言っても過言ではない。

### (3) パイロット波理論の評価

1926年に、Heisenbergの行列力学とSchrödingerの波動力学が数学的に同等であることが証明され<sup>44)</sup>、またP. Jordan (1902-1998)とDiracによって両者の変換理論が開拓されて量子力学が誕生した<sup>45)</sup>。1927年の第5回ソルベイ会議では、量子力学の解釈をめぐり有名なEinsteinとN. Bohr (1885-1962)の論争が繰り広げられた<sup>46)</sup>。その会議でde Broglieは物質波概念の延長上にあるパイロット波について発表を行ったが<sup>47)</sup>、論争の陰に隠れて注目を浴びることはなく、Einstein以外の共感を得ることはできなかった<sup>48)</sup>。このパイロット波の理論は二重解の理論とも呼ばれており、de Broglieの物質波概念と同様に「粒子と波動の共存」に基づくものである。パイロット波理論では、Schrödinger方程式の解としての波動(確率波)と、特異点が粒子を表すような特異解の波動の二つが存在し、両者の位相は合っているというもので、確率波で粒子が先導されるという描像であった。しかし、量子力学における粒子と波動の二重性の解釈は、それを粒子と波動の相補性としてとらえるコペンハーゲン解釈が主流となったため、de Broglieのパイロット波の理論は、傍流とみなされるようになった。

第5回ソルベイ会議と同じ1927年には、C. Davisson (1881-1958)とL. Germer (1896-1971)によって<sup>49)</sup>、また彼らとは独立にG. P. Thomson (1892-1975)によって電子の回折実験が行われ<sup>50)</sup>、電子の波動性が証明された。これにより、物質波の存在は認められることになったが、それによってde Broglieの物質波理論、即ち粒子と波動は共存しているという考えの中で粒子が消滅し、物質の波動性という特質のみが独り歩きをしていったのである。

## 4 日本におけるde Broglie理論の受容

### (1) de Broglieの学位論文

#### ①竹内時男の抄訳

1924年に受理されたde Broglieの学位論文の最初に出版された抄訳は、1927年6月に出版された竹内時男の『新力学及波動力学論叢』である<sup>51)</sup>。これは、Schrödingerの波動力学、Heisenbergの行列力学と両者の関係、量子論の哲学的基礎についての論文をまとめたもので、竹内が執筆したというよりは、既存論文を集約した内容となっている。その序の中で、竹内は「数年前に出版した自著『量子論』の中で、量子論と相対論が融合する可能性について述べたが、それがde Broglieによって成された」と書いている。この竹内の『量子論』は、de Broglieの物質波の論文が出る以前の1922年に出版されたものである<sup>52)</sup>。それは同年11月にEinsteinが来日する前の1月のことであり、竹内の『量子論』には、「来日するEinstein博士に捧ぐ」と記されている。この本の序で竹内は、「量子論は相対性理論と相並んで革命的な大原理であり、まだ完成はしていないものの直接的な応用が広範であることをふまえると、相対性理論よりも私たちに緊要なものである」と述べている。そして、量子論の成書は未だ日本には存在しないので、この本を著したこと、またその内容がF. Reiche (1883-1969)の*Die Quantentheorie*によるところが甚だ多いと記されている<sup>53)</sup>。つまり、日本における最も初期の量子論に関する著作が、竹内の『量子論』であり、そ

れがReicheの*Die Quantentheorie*に準じていたということである。全7章のうち第3章は「Einsteinの光量子仮説」について記載しており、1905年にEinsteinが提出した大胆な光量子仮説が、光電効果を説明できる一方、干渉現象を説明できないという難点があることを指摘している。そして結論では、「輻射は空間をも光粒子として伝播するのか、そして量子論と相対性理論との間にいかに密接な関係があるのかという大問題に至っては、今後の天才の揭示を待たねばならぬが、その栄光の日が1日も早く来ることを願う」と書かれている。『新力学及波動力学論叢』の序で、「自著の中で、量子論と相対論が融合する可能性について述べたが、それがde Broglieによって成された」と書いているのは、まさにこの点を指していたのである。そして竹内は、1922年当時から量子論と相対論の融合があり得ると期待していたため、量子論に相対性理論を適用して物質波を導いたde Broglieの学位論文に大いに注目したと考えられる。

竹内がde Broglieに傾倒していたことは、『新力学及波動力学論叢』の冒頭に掲載されている付録「新波動力学の基礎」で10頁を費やし、de Broglieの学位論文の内容を紹介している点からも裏付けられる。1926年1月にSchrödingerの波動力学の論文が発表されているが、竹内が波動力学成立後も『新力学及波動力学論叢』に敢えてde Broglieの学位論文の内容を詳しく記述しているのは、de Broglieが相対論を用いて物質波を導いた点に深く共感したからだと推察される。なおde Broglieの名前の読み方が間違っていたが、それはde Broglieの知名度が低く、またイタリア貴族出身のde Broglieの名前の読み方が特殊であったからであろう。

『新力学及波動力学論叢』の冒頭に掲載されている付録「新波動力学の基礎」は、1927年5月1日に行われた東京府下中等学校理化教育研究会第4回総会での講演原稿である。竹内はまず、de Broglieの学位論文をSchrödingerの波動力学の根拠となるものとして位置付け、さらにde Broglieの物質波の理論がNewton-Einsteinの古典力学と量子論の欠陥を補うものであると高く評価している。そして、幾何光学と物理光学との対比が力学と波動力学の対比に相当し、前者におけるMaupertuis原理が後者のFermatの原理に対応するという考えを基盤としてde Broglieが物質波の理論を提出したことを述べている。

次にde Broglieの学位論文に忠実に、静止質量の物質粒子に対し相対論から得られる $E = m_0 c^2$ と、量子論から得られる $E = h\nu_0$ の二つのエネルギーを与え、両者が等しい $m_0 c^2 = h\nu_0$ とおき、相対性理論を用いた結果、粒子に光速よりも速く伝搬する位相波を伴わせたことについて説明している。その際、位相波は真の波ではなく、偽りの幽霊の波であると付け加えている。さらに位相波の群速度が粒子の速度になっていること、電子軌道の安定条件が位相波の波長の整数倍で表されることを示している。そして最後に「Maxwellは光は電磁現象であるとし、光と電磁気を同じ屋下に置いたが、今や物質も波動に還元させられて、光、電磁気および物質が同一の概念に統一せられた事は非常なる満足を私達に与える」と締めくくっている。

竹内は、1927年9月に創刊された『日本数学物理学会誌』（現日本物理学会誌の前身）にもde Broglieの学位論文の抄訳を掲載している<sup>54)</sup>。100頁に及ぶ学位論文を8頁に抄訳しているが、内容は『新力学及波動力学論叢』と重複しており、静止質量 $m_0$ の物質粒子に対し、



相対論から得られるエネルギーと量子論から得られるエネルギーを等しいとおき、相対性理論を用いた結果、粒子に光速よりも速く伝搬する位相波を伴わせたこと、位相波の群速度が粒子の速度になっていること、電子軌道の全長が位相波の整数倍になる場合が定常状態であること、力学におけるMaupertuisの原理と光学におけるFermatの原理の類推が扱われている。

竹内時男は当時東京高等工業学校（後の東京工業大学）に所属しており、理化学研究所の輪講会にも参加していた。後に伏見康治（1909-2008）は、竹内のことを「竹内さんという人は、新しい文献を非常に早く頭の中に入れてしまう人で、そのころ新聞社の科学記者は、何か新しいことが出ると、すぐ竹内さんのところに飛んで行ってましたよ。ほとんど毎週くらい竹内さんの名前が新聞に出ているわけです」と回顧している<sup>55)</sup>。実際、竹内は読売新聞を中心に科学記事を数多く提供していた<sup>56)</sup>。物理学者としては、多岐にわたる研究業績があるものの、竹内の訃報を掲載した読売新聞は「ジャーナリストとして知られる竹内博士」という表現を使っており、物理学者というよりも科学ジャーナリストとして知られた存在であったと考えられる<sup>57)</sup>。また竹内は1941年の人工放射性食塩事件でも一般に知られることになった<sup>58)</sup>。竹内は1936年に、 $\gamma$ 線を食塩に照射して放射性物質を生成したとして論文を発表し、1941年4月には人工放射性食塩の特許を取得した。これに対し、理化学研究所の仁科芳雄らが異議を申立て、1941年6月の日本数学物理学会で議論がなされ、最終的に竹内は誤りを認めて特許を取り下げることになった。これが人工放射性食塩事件であり、1941年6月12日と13日の読売新聞の夕刊にもこの内容が掲載されている<sup>59)</sup>。竹内は『新力学及波動力学論叢』などの著作により、最も早い時期に量子力学を日本で紹介することにより、物理学を志す若い学生に刺激を与え、科学ジャーナリストとして活躍したが、1944年に51歳で脊髄カリエスにより他界した。

## ②『物理学文献抄 第1輯』

de Broglieの学位論文は、1927年8月に岩波書店から出版された『物理学文献抄 第1輯』にも芝亀吉（1897-1996）による抄訳が掲載されている<sup>60)</sup>。100頁に及ぶde Broglieの学位論文が42頁にまとめられており、de Broglieの博士論文の緒論、第1章から7章と追記が要約されている。具体的には、de Broglieの学位論文に倣い、緒論から始まり、第1章は位相波、第2章はMaupertuisの原理とFermatの原理、第3章は軌道の安定に関する量子条件の内容を説明している。そして第4章は「新しい考の種々の応用」というタイトルが付けられ、de Broglieの学位論文の第5章の光量子、第6章のX線と $\gamma$ 線の散乱、第7章の統計力学と量子、追記の光量子の内容がまとめて記されている。よって『物理学文献抄 第1輯』に掲載された抄訳では、de Broglieの学位論文全体を把握することができる。

『物理学文献抄 第1輯』にはde Broglieの学位論文の他に、Schrödingerの波動力学第2論文<sup>61)</sup>、波動力学の摂動論<sup>62)</sup>、Heisenbergの新量子力学の基礎<sup>63)</sup>、M. Born（1882-1970）&P. Jordanのマトリックスに據る量子力学<sup>64)</sup>、Diracの量子代数による力学といった量子力学の論文が掲載されている<sup>65)</sup>。1926年に京都帝国大学に進学した湯川秀樹（1907-1981）、朝永振一郎（1906-1979）とその先輩である西田外彦（1901-1949）、田村松平（1904-1994）



は、量子力学に関する原書を読み、量子力学を学んだ<sup>66)</sup>。関東でも1926年3月に「物理学輪講会」が発足しており、参加者の多くは若い研究者で、土井不曇（1895-1945）、金光正道、芝亀吉、鈴木昭、中谷宇吉郎（1900-1962）、藤岡由夫（1903-1976）が中心となった。理化学研究所所属者が多かったとは言え、発足当時は、理化学研究所の機構とは独立した有志の会であり、最初の輪講会は1926年3月18日に開催されたと推定される。この物理学史輪講会の参加者が、『物理学文献抄 第1輯』を出版したのである<sup>67)</sup>。

『物理学文献抄 第1輯』の序文には、「物理学上の文献として月々に現れて来る研究報告の数は非常に多く、Science AbstractsやPhysikalische Berichteに出るものだけでも月々200や300ある。そのうち学徒の専門に関連するものを選択しても10を下らないので、それらを精読するのは実に容易な仕事ではない。その困難に対する一つの方法として、数名で毎週集まり論文の輪講会を催し批評討議をしてきたが、それを印刷したものが本書である。どの論文が最も重要であるかは難しい問題であるが、主として原子分子の物理に関する最近の問題を取り扱った理論的なものが多く選ばれた」と書かれている。

物理学輪講会参加者であった鈴木昭へのインタビューによると、量子力学は必ずしも物理学史輪講会の発足の動機ではなかった<sup>68)</sup>。実際、1928年に出版された『物理学文献抄 第2輯』の序では<sup>69)</sup>、「第1輯では主として原子分子の物理に関する問題が抄録されたが、それは新力学の勃興に遭遇したからである。この方面の新論文は現在も続々出ては来るが、一段落ついたように思われるので、第2輯では幾分広い方面の論文を扱っている」と書かれている。そして第2輯では、量子力学の論文としては、Bornの断熱原理の論文のみが掲載されている<sup>70)</sup>。

竹内の著書『新力学及波動力学論叢』と『物理学文献抄 第1輯』は1927年に出版され、『日本数学物理学会誌』は1927年に創刊された。これらの著書・雑誌の中でde Broglieの論文が翻訳された1927年は、当時の日本の物理学者が精力的に量子力学に関する基本文献を読み、翻訳してその出版をまさに開始した年であった。後のインタビューで、1928年に東京帝国大学を卒業した有山兼孝（1904-1992）は、「自分の学生時代には大学の講義科目に量子力学はなかった」と回顧し、武藤俊之助（1904-1973）は回想記の中で「当時新しい量子力学を体系的に解説した書著は存在しなかった」と述べている。一方、1年下の小谷正雄（1906-1993）は、量子力学の文献を読んでいたと回顧している<sup>71)</sup>。これらの発言からも、1927年に『新力学及波動力学論叢』『日本数学物理学会誌』『物理学文献抄 第1輯』に掲載されたde Broglieの論文の抄訳は、他の量子力学関連の論文と同様、当時の若い物理学者を中心に広く読まれ、量子力学の受容を促したと考えられる。

## (2) 『波動力学研究序説』

### ① 波動力学とde Broglie

1928年にde Broglieの著書『波動力学』*La mécanique ondulatoire*がGauthier-Villarsから出版されたが日本では翻訳されていない<sup>72)</sup>。一方、1930年にHermannから出版された*Introduction à l'étude de la Mécanique ondulatoire*は<sup>73)</sup>、1934年に『波動力学研究序説』というタイトルで渡辺慧による翻訳が岩波書店から出版された<sup>74)</sup>。この著書の英語訳とド

イツ語訳も出版されているが、1929年にde Broglieがノーベル物理学賞を受賞して知名度が上がったことが、外国語翻訳がなされた理由の一つと考えられる。

de Broglieの学位論文は抄訳であったが、*Introduction à l'étude de la Mécanique ondulatoire*は、序論と第1章から第19章の全章が忠実に翻訳されているので、de Broglieの著作の初の完全翻訳書であり、当時のde Broglieの波動力学に対する考えを正確に読み取ることができる。

本書は、波動力学を理解するための基礎的な理論として、まず古典力学のHamilton-Jacobi理論、波動の伝播と分散について説明した後に、古典力学と波動力学の関係と電子の回折実験について述べている。次に粒子に波動を伴わせ、波動により粒子が導かれるという自身のパイロット波の理論と、さらに光粒子に波動を伴わせる光粒子の波動力学を展開している。一方、HeisenbergとBohrの量子力学に関する理論についても記載し、それに対するEinsteinの異議について記述している。最後に前期量子力学の問題点を波動力学の量子化で理解できることを示し、波動力学とHeisenbergの量子力学との関係について解説している。本書は波動力学の入門書ではあるが、パイロット波の理論や光粒子の波動論といったde Broglie自身の見解と、幾何光学と波動光学の関係が古典力学と波動力学の關係に相当するというde Broglieの学位論文と同様の類推を含んでいる点で、独自の波動力学解説書であると言える。

加えて本書で特筆すべきことは、冒頭の一般的序論の中で、de Broglieの当時の量子力学についての見解を知ることができる点である。de BroglieによるとEinsteinの光量子説が光電効果を説明したことで、光の粒子性が認められたが、その結果、光の粒子と波動の二重性の問題に直面することになった。同様にde Broglieが提出した物質の波動性によって、電子の回折現象が説明されたことで、光だけでなく物質の二重性の問題も生じた。1927年のSchrödingerの波動力学では、粒子または電子は波動を重ね合わせた波束であると考えたが、それでは粒子の存在が消えてしまう。そこでde Broglieは1928年の第5回ソルベイ会議で、パイロット波を導入して位相波の特異点が粒子であるという考えを発表したが、満足のいく波動方程式を得ることができなかった。一方、粒子と波動の二重性の問題についてはHeisenbergの不確定原理とBohrの相補性の解釈が当時最も広く受け入れられていたが、そこでは古典的な粒子の描像は消滅している。de Broglieは以上のことから、粒子と波動の二重性の問題は依然として神秘的に包まれていると結んでいる。このようにde Broglieは量子力学が成立した後もHeisenbergとBohrの量子力学的解釈により、粒子と波動の二重性の問題が解決したとは考えておらず<sup>75)</sup>、量子力学の解釈は不完全なものであるという立場を取っていたのである<sup>76)</sup>。

## ②渡辺慧とde Broglie

『波動力学研究序説』は、量子力学研究の中心であったドイツやコペンハーゲンの物理学者とは異なる視点で書かれた波動力学の解説書であった。翻訳者の渡辺は、その点に注目し、同書を翻訳する意義を訳者付記の中で次のように述べている。

「日本の物理学界の今日までの動向を見ると、ドイツ物理学偏重の傾向があるように考

えらえる。ドイツ物理学の重厚さの前にフランス物理学の簡明さは忘れ去られていたのである。フランス物理学の直感的直截さは、ドイツ物理学の論理的迂遠さ程流行しなかったのである」

渡辺は、着実に体系的なドイツ物理学の方が、靈感的で飛躍のあるフランス物理学よりも支持されたのは当然ではあるが、日本人の国民性はフランス物理学にむしろ近いものではないかと考えていた。そこでフランス人物理学者であるde Broglieの著作の翻訳が、日本独自の物理学の発展に寄与すると期待して翻訳に着手したのである。しかし渡辺はde Broglieの理論を全て受け入れていた訳ではなく、特にde Broglieが光子と物質粒子を対等に扱っている点については疑問を抱いており、正しい光子の波動力学は完成の途上にあると書いている。

渡辺は高校時代から海外の研究に興味を持っており、竹内時男の『新力学及波動力学論叢』も読んでおり、語学にも堪能で東京帝国大学理学部物理学科在学中からアテネ・フランスに通いフランス語に磨きをかけた<sup>77)</sup>。渡辺は1933年に大学を卒業すると、同年にフランス政府給費留学生としてパリでde Broglieに師事した。渡辺がフランス留学をした理由は、『波動力学研究序説』の訳者付記で彼が書いていたように、フランス物理学の直感的直截さに惹かれたためであると思われる。また渡辺は東京大学在学時代から、理化学研究所で寺田寅彦(1878-1935)の指導を受けていたが、寺田の影響もあったと推測される。寺田はX線回折研究で知られているが、日常生活における身近な現象についても研究しており、1931年には割れ目の研究を行っていた<sup>78)</sup>。その研究に刺激され、渡辺も1934年には割れ目に関する研究論文を発表している<sup>79)</sup>。1929年に寺田は「ルクレチウスと科学」という随筆を岩波講座の『世界思潮』に掲載し、ローマの詩人・原子論者であるルクレチウスを絶賛している<sup>80)</sup>。その中で、寺田は科学者を二つのタイプに分類し次のように述べている。

「暗示に対する感受性の鋭敏なたちの人と鈍感なたちの人とがある。解析型クラシカル型の人多く後者に属し、幾何型ロマンチック型の学者は前者に属するのは周知の事実である。」「科学上ではなんらかの画紀元的の進展を与えた新しい観念や学説がほとんど皆すぐれた頭脳の直観に基づくものであるという事は今さらに贅言を要しない事であるにかかわらず、昔も今も通有な一種の偏狭なアカデミックの学風は、無差別的に直観そのものを軽んじあるいは避忌するような傾向を生じている。これは日本やドイツばかりには限らないと見えて米国の学者でこれを痛切に論じたものもあった。これは科学にとって自殺的な偏見である。」さらに寺田は、相対性理論や波動力学も直観なしの推理や解析だけで形成されたとは考えられず、Einsteinやde Broglieも直観によって新しい活路を見出したと主張している。

ここで言われている幾何型ロマンチック型は直観を重んじるが、これは渡辺が『波動力学研究序説』の訳者付記で述べた直感的直截さ、靈感的で飛躍のあるフランス物理学に通ずるところがある。そして解析型クラシカル型とは、重厚で着実かつ体系的なドイツ物理学を指すと推測される。渡辺が指導を受けた寺田が、日本とドイツのアカデミックな学風を批判し、de Broglieがそれとは異なるタイプの物理学者であると指摘していたことは、渡辺がフランス留学を目指した動機の一つであったと考えられる。

フランス留学後に渡辺は、1934年に*Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*に掲載されたAl. Proca (1897-1955) の論文“Sur les particules qu'on peut associer à la propagation d'une onde de lumière”<sup>81)</sup>、de Broglieの論文“Sur la nature du photon”<sup>82)</sup>、の抄訳と解説を総合報告「光子と波動力学」と題して1934年の『日本数学物理学会誌』でいち早く紹介している<sup>83)</sup>。この論文でde Broglieは光子をニュートリノと反ニュートリノとの複合系であるとし、光子の波動方程式を導いた。その際、学位論文と同様に光の粒子に微小質量を伴わせていた。渡辺は、『波動力学研究序説』の訳者付記ではde Broglieが光子と物質粒子を対等に扱っている点について疑問を抱いていた。一方、1934年の『日本数学物理学会誌』のde Broglie論文の解説では、de Broglieの論文は今までに現れた多くのその種の論文と全然行方を異にして、その結果多くの難点を見事に解説しており、その考察を非常に興味深いと記している。

また渡辺は1935年に*Le deuxième théorème de la Thermodynamique et la Mécanique ondulatoire*『熱力学第二法則と波動力学』をHermanから出版した<sup>84)</sup>。ここで渡辺は、量子力学と熱力学の統合を試み、エントロピーの定義の一般化とH定理の新しい定式化を与えた。その序文はde Broglieが書いており、「若き日本の学者の繊細で論理的な美しい理論である」と称賛している。

渡辺は1937年にフランスからドイツに移り、ライプニッツでHeisenbergに師事し、原子核理論の研究を行うことになった。1939年に第2次世界大戦が開始すると、コペンハーゲンのBohrのところ滞りながら同年12月に帰国した<sup>85)</sup>。渡辺がフランスに滞在したのは1933年から1937年までの4年間だけであったが、当時の新進気鋭の物理学者の多くが量子力学のメッカであるドイツやデンマークに留学する中、フランスに留学した少数派としてde Broglieを中心としたフランスの量子力学研究を日本に伝えた。渡辺は何よりも独創を重んじ、時流に乗り専門に自己閉塞するのを軽蔑し、帰国後も多数の業績により、新しい学問を切り拓いた<sup>86)</sup>。

## 5 おわりに

1923年にde Broglieが初めて提出し、1924年の学位論文でその詳細が述べられた物質波の理論は、光に微小質量を持たせ光の原子と見做し、光の原子にも物質粒子にも位相波を伴わせて共存させるというものであった。この考えは、Schrödingerの波動力学の端緒となったが、de Broglieがその理論の延長上にあるパイロット波について、1927年に開催された第5回ソルベイ会議で発表を行った際には、ほとんど注目されなかった。

日本では1927年から本格的に量子力学関連の論文の翻訳が出版されるようになり、de Broglieの学位論文の抄訳もその中に含まれていたため、その内容は当時の多くの日本人物理学者に読まれた。その中で、1927年に初めてde Broglieの学位論文の抄訳を出版した竹内時男は、1922年の時点で、相対性理論と量子論を統合する理論を待ち望んでいたため、de Broglieの学位論文の手法に大いに共感し、波動力学成立後も著書『新力学及波動力学論叢』の冒頭で10頁を割いてde Broglieの学位論文の内容紹介をした。高校時代から竹内



の『新力学及波動力学論叢』を読んでいた渡辺慧は、大学時代に寺田寅彦に師事し、大学卒業後1933年に渡仏し、1937年までde Broglieの下で学んだ。フランス留学中に渡辺はde Broglieの*Introduction à l'étude de la Mécanique ondulatoire*の日本語訳『波動力学研究序説』を出版し、その訳者付記の中で、当時の日本の物理学界はドイツ物理学偏重の傾向があり、フランス物理学の簡明さは忘れ去られていたと記している。渡辺はそれを補う目的と、日本人の国民性は霊感的で飛躍のあるフランス物理学に近いという持論に基づいてde Broglieの著作の全訳を初めて日本で出版したのである。

1927年の第5回ソルベイ会議以降、de Broglieは1929年にノーベル物理学賞を受賞したものの、彼のオリジナルな物質波理論は脚光を浴びることはなかった。一方、1927年以降、量子力学関連の論文が翻訳出版され始めた日本においては、波動力学の先駆者として、de Broglieの学位論文の抄訳も読まれた。さらに竹内時男や渡辺慧といった根強いde Broglie支持者により、日本ではde Broglieの物質波理論が伝えられていたのである。

## 謝辞

科学史研究における貴重な史料であるde Broglieの写真、EinsteinからLangevin宛の手紙、de Broglieの学位論文に関するLangevinの報告書、de BroglieによってとられたLangevinの量子論講義ノートの写真をご提供頂いたFondation Louis de Broglieに深く感謝致します。またde Broglieに35年間師事し、素粒子研究を継続された同研究所元所長G. Lochak氏の2021年2月4日のご逝去の報に接し心からお悔やみ申し上げます。

---

## 参考文献と注釈

- 1) 本論は、欧文誌に掲載された以下の論文の内容を基に同論文未掲載の写真を加え、寺田寅彦の渡辺慧への影響などを補充して執筆したものである。なお、本論の写真資料は、全て科学的価値のあるもので、Fondation Louis de Broglieの許可を得て掲載している。  
C.Kojima: "The Acceptance of de Broglie's Matter Wave Theory in Japan", *Historia Scientiarum*, Vol.29, No.3 (2020) pp.260-279.
- 2) フランスにおける量子論の状況については、以下の研究で扱われている。D. Pestre: *Physique et physiciens en France 1918-1940*, édition des archives contemporaines (1984), M. C. Bustamante: "Rayonnement et quanta en France 1900-1914", *Physis* vol.XXXIX (2002) pp.63-107., C. Kojima: "Acceptance of Quantum Theory in France", *Historia Scientiarum*, No.10, Vol.2, (2000) pp.156-162. C. Kojima: "La Physique Française avant Louis de Broglie", *Annal.de Fond. de Broglie*, No29. Voll. (2004) pp.767-778.
- 3) 以下の量子力学の通史において、de Broglieに関連する事項が扱われている。  
天野清: 『量子力学史』中央公論社 (1973) pp.141-152.  
広重徹: 『物理学史 II』培風館 (1968) pp.192-198.



- M. Jammer: *The Conceptual Development of Quantum Mechanics*, New York (1966), 『量子力学史1, 2』東京図書 (1974) pp.48-86.
- 高林武彦: 『量子論の発展史』中央公論社 (1977) pp.154-177.
- J. Mehra, H. Rechenberg: *The Historical Development of Quantum Theory*, vol.1-4, Springer-Verlag (1982) pp.583-604.
- O. Darrigol: *From c-Numbers to q-Numbers*, California Press (1992) pp.329-331.
- M. Beller: *Quantum Dialogue*, University of Chicago Press (1999) pp.223-241.
- H. Kraph: *Quantum Generations*, Princeton University Press (1999) pp.163-167.
- 4) de Broglieの伝記としては、弟子によって書かれた以下のものがある。
- M. A. Tonnelat :*Louis de Broglie et la mécanique ondulatoire*, Seghers (1966), G. Lochak, *Louis de Broglie*, Flammarion (1991)
- 5) de Broglie家の歴史については、La Vande:*Les Broglie*, Fasquelle, (1950) に書かれている。またL. de Broglieの姉Pauline (後のde Pange公爵夫人) は、20世紀初頭のde Broglie家を含む貴族社会の様子を4冊の本にまとめている。Contesse J. de Pange :*Comment j'ai vu 1900*, Grasset, Paris, t1. (1962) t2. (1965), t3. (1968), t4, (1973)
- 6) L. de Broglie: *Certitudes et incertitudes de la Science*, Albin Michel, Paris. (1966) pp.13-14.
- 7) 写真1は、de Broglieがエッフェル塔の無線局に配属されたときに撮影されたものである。エッフェル塔の後方には1878年のパリ万国博覧会にあわせて1876年に建造された旧トロカデロ (シャイヨ) 宮殿が見えているが、この宮殿は1937年のパリ万国博覧会開催のために取り壊され、現在のシャイヨ宮殿が建てられた。ド・プロイは貴族の出身であったため、日常生活では家族に対しても敬語を使用していたが、エッフェル塔の無線局では敬語を使わずに同僚と自由に会話ができた。写真のド・プロイのいたずらな眼差しには、戦時下ではあったが、無線局での日々を謳歌していた様子が感じられる。
- 8) L. de Broglie: “Ondes et quanta”, *Comptes Rendus*, vol.177, (1923) pp.507-510.
- 9) 8) に加えて以下の2論文が1923年に発表された。
- L. de Broglie : “Quanta de lumière, diffraction et interférences”, *Comptes Rendus*, 177 (1923) pp.548-550., “Les quanta, la théorie cinétique des gaz et le principe de Fermat”, *Comptes Rendus*, vol.177, (1923) pp.630-632.
- 10) L. de Broglie: “Recherches sur la théorie des quanta”, *Ann.de Phys.*, (10)3, (1925) pp.22-128.
- 11) A.Einstein: “Quantentheorie des einatomigen idealen Gases (Zweite Abhandlung)”, *S.B.Preuss.Akad.Wiss.phys.-math. Klasse*, vol.13, (1925) pp.3-14.
- 12) E. Schrödinger: “Zur Einsteinschen Gastheorie”, *Physik.Zeit.*, vol.27, (1926) pp.95-101.
- 13) E. Schrödinger: “Quantisierung als Eigenwertproblem.II.”, *Ann.d.Phys.*, (4), vol.79, (1926) pp.489-527.

- 14) W. Heitler: “Erwin Schrödinger”, in *Biographical Memories of Fellows of the Royal Society*, vii, (1961) pp.221-229.
- 15) C. Davisson, L. H. Germer: “The Scattering of Electrons by a Single Crystal of Nickel”, *Nature*, vol. 119, (1927) pp.558-560.
- 16) G. P. Thomson, A. Reid: “Diffraction of cathode rays by a thin film”, *Nature*, vol.119, (1927) p.802.
- 17) 勝木渥：『量子力学の曙光の中で』星林社（1991）
- 18) 伊藤憲二：「量子力学が導いた新しい風」『日本物理学会誌』 vol.71, No. 8, (2016) pp.558-562.
- 19) 中根美知代：「量子力学の日本への移入と杉浦義勝」『日本物理学会誌』 vol.73, No. 6, (2018) pp.395-396.
- 20) K. Ozawa: “Arnold Sommerfelds Aufenthalt in Japan”, *Historia scientiarum*, 15(1), (2005) pp.44-65.
- 21) 文献10) p.35.
- 22) de Broglieは、後に彼の波動力学の真のアイデアは位相一致の法則であったと述べている。L. de Broglie: *Recherches d'un demie-siècle*, Albin Michel (1976) pp.63-68.
- 23) L. de Broglie: “Rayonnement noir et quanta de lumière”, *Journal de Physique*, série VI,t.III, (1922) pp.422-428.
- 24) L. de Broglie: “Waves and Quanta”, *Nature*, No.2815, Vol.112, (1923) p.540.
- 25) L. de Broglie: “A tentative theory of light quanta”, *Philosophical Magazine*, XLVII, (1924) pp.446-458.
- 26) 文献10) p.111.
- 27) L. de Broglie: *Recherches sur la théorie des quanta*, Fondation Louis de Broglie (1992) pp.131-134.
- 28) 文献3) Mehra, pp.602-603, M. Jammer, : *Conceptual Development of Quantum Mechanics*, A. I. P. (1989) p.250.
- 29) C. Mauguin: “La thèse de doctorat de Louis de Broglie”, in L. de Broglie: *Physicien et penseur*, Albin Michel (1953) p.434.
- 30) 文献3) Mehra,p.603.
- 31) 文献27) p.133.
- 32) *ibid.*, p.134.
- 33) Compton効果の発見も光量子の存在を証明する決定的実験ではなかったという指摘もある。今野宏之:「Bohrと光量子」『別府大学一般教育論集』 No.10, (1989) pp.1-16.
- 34) C. Kojima: “Notes prises par Louis de Broglie lors des cours de Paul Langevin au Collège de France sur la théorie des quanta”, *History of Modern Physics*, Brepols (2002) pp.275-286.
- 35) *Collected papers of P. Kapitza*, Pergamon Press, Vol.III, (1967) pp.210-211.
- 36) A. Ioffe: “A la mémoire d'un maître et ami”, *La Pensée*, N° 12, (1947) pp.15-16.

- 37) AHQPの1963年1月8日に行われたBauerとのインタビューに基づく。その後Henriはde Broglieの学位論文をSchrödingerに読むように伝えたとも言っている。
- 38) L. de Broglie: *Nouvelle perspectives en microphysique*, Albin Michel (1956) p.182.
- 39) L. Langevin: “Paul Langevin et Albert Einstein d’après une correspondance et des documents inédits”, *La Pensée*, N° 161, (1972) pp.22-23.
- 40) 文献11), O. Darrigol: “The origin of quantized matter wave”, *HSPS*, vol.16, part2 (1986) pp.197-215.
- 41) K. Przibram: *Schrödinger, Planck, Einstein, Lorentz, Briefe zur Wellenmechanik*, Springer Verlag, (1963) 江沢洋訳: 『解説:波動力学形成史』みすず書房 (1982) p.26.
- 42) E. Schrödinger: “Quantisierrung als Eigenwertproblem.”, *Ann. d. Phys.*, (4), vol.79, (1926) pp.361-376.
- 43) 文献12) p.95.
- 44) E. Schrödinger: “Über das Verhältnis der Heisenberg-Born-Jordanschen Quantenmechanik zu der meinen”, *Ann. d. Phys.*, (4), vol.79, (1926) pp.734-756.
- 45) P.A. M. Dirac: “The Physical Interpretation of the Quantum Dynamics”, *Proc. Roy.Soc.*113A, (1926) pp.621-641., P.Jordan: “Über eine neue Begründung der Quantenmechanik”, *Zeits. f. Phys.* vol.40, (1927) pp.809-838.
- 46) Niels Bohr: “Discussion with Einstein on Epistemological Problems in Atomic Physics”, in Paul Arthur Schilpp (ed.), *The Library of Living Philosophers, Albert Einstein: Philosopher-Scientist*. Open Court (1949) pp.199-241.  
M. Kumar: *Quantum: Einstein, Bohr, and the great debate about the nature of reality*, W. W. Norton (2011)
- 47) L. de Broglie: “Nouvelle dynamique des quanta”, *Rapport au V<sup>e</sup> Conseil de Physique Solway*, Gauthier-Villars (1928) pp.105-141.
- 48) 文献38) pp.232-237.
- 49) 文献15)
- 50) 文献16)
- 51) 竹内時男: 『新力学及波動力学論叢』大鏡蔵版 (1927)
- 52) 竹内時男: 『量子論』内田老鶴圃 (1922)
- 53) F. Reiche: *Die Quantentheorie*, Springer (1921)
- 54) L. de Broglie, 竹内時男訳: 「量子論に就いての研究」『日本数学物理学会誌』vol. 1, (1927) pp.98-106.
- 55) 座談会: 「数物学会の分離と二つの科学」『日本物理学会誌』vol.51, (1996) pp.26-36
- 56) 読売新聞に掲載されたものだけでも1927年-1941年の間に90の記事が掲載されている。
- 57) 「竹内時男氏死去」『読売新聞』1944年4月27日朝刊
- 58) 伊藤憲二: 「竹内時男と人工放射性食塩事件: 1940年第初めの科学スキャンダル」『科学史研究』Vol.57, No.288, (2019) pp.266-282.
- 59) 「ラジウムの人工放射 [理研対竹内博士の論争をめぐって 上]」『読売新聞』1941年

- 6月12日夕刊p.3.,「人工ラジウムの効用[理研対竹内博士の論争をめぐって 下]」『読売新聞』1941年6月13日夕刊
- 60) L. de Broglie, 芝亀吉訳:「量子論に関する研究」『物理学文献抄 第1輯』岩波書店(1927) pp.41-82.
- 61) 文献13) 木内政蔵訳:「固有値の問題としての量子的事相(第二報告)」『物理学文献抄 第1輯』岩波書店(1927) pp.82-91.
- 62) E. Schrödinger: “Quantisierung als Eigenwertproblem”, *Ann.d.Phys.*, (4), vol.80, (1926) pp.437-49. 鈴木昭訳:「波動力学における摂動論」『物理学文献抄 第1輯』岩波書店(1927) pp.92-104.
- 63) W. Heisenberg: “Über quantentheoretische Umdeutung kinematischer und mechanischer Beziehungen”, *Zeits. f. Phys.*, vol.33, (1925) pp.879-893. 藤岡由夫訳:「新量子力学の基礎」『物理学文献抄 第1輯』岩波書店(1927) pp.105-117.
- 64) M. Born, P. Jordan: “Quantenmechanik”, *Zeits. f. Phys.*, vol.34, (1925) pp.858-888. 金光正道訳:「マトリックスに據る量子力学」『物理学文献抄 第1輯』岩波書店(1927) pp.118-143.
- 65) P. A. M. Dirac: “The Fundamental Equations of Quantum Mechanics”, *Proc of Roy. Soc. A. Vol 109*, (1925) pp.642-653. “Quantum Mechanics and a Preliminary Investigation of the Hydrogen Atom”, *Proc of Roy. Soc. A. Vol 110*, (1926) pp.561-579. 藤岡由夫訳:「量子代数による力学」『物理学文献抄 第1輯』岩波書店(1927) pp.144-184.
- 66) 文献18) p.559.
- 67) 文献17) pp.17-21.
- 68) *ibid.*, p.19.
- 69) 『物理学文献抄 第2輯』岩波書店(1928)
- 70) M. Born: “Das Adiabatenprinzip in der Quantenmechanik”, *Zeits. f. Phys.*, vol.34, (1925) vol.40, (1926) pp.167-192. 鈴木昭訳:「断熱原理に就いて(特にBornの理論)」『物理学文献抄 第2輯』岩波書店(1928) pp.291-314.
- 71) 勝木渥:「物理学史資料の調査・収集によせて」『日本物理学会誌』 vol.37, No. 8, (1982) p.652.
- 72) L. de Broglie: *La mécanique ondulatoire*, Gauthier-Villars (1928)
- 73) L. de Broglie: *Intraduction in l'étude de la Mécanique ondulatoire*, Hermann (1930)
- 74) 渡辺慧:『波動力学方法序説』岩波書店(1934)
- 75) J. L. Andrade e Silva, G. Lochak: *Quanta, grains et champs*, Hachette (1969) pp.147-150.
- 76) 高林武彦:『現代物理学の創始者』みすず書房(1988) pp.227-243.
- 77) 伏見康治:「原子党宣言を書いた渡辺慧君逝く」Lynex Lyceum通信, No.25, (1994) pp.1-9.
- 78) T. Terada: “On the Cracks and Fissures”, *Sc. Pap. J. P. C. R. Vol.16*, (1931) p.159.

- 79) 渡辺慧：「割れ目について」『気象集誌』第2輯, 12 (1), (1934) pp.23-31.
- 80) 寺田寅彦：「ルクレチウスと科学」『科学の思想I』現代日本思想体系25, 筑摩書房 (1964) pp.369-411.
- 81) Al. Proca: “Sur les particules qu’on peut associer à la propagation d’une onde de lumière”, *Comptes Rendus*, vol.198, (1934) pp.643-645.
- 82) L. de Broglie: “Sur la nature du photon”, *Comptes Rendus*, vol.198, (1934) pp.135-138.
- 83) 渡辺慧：「光子と波動力学」『日本数学物理学会誌』 vol. 8, (1934) pp.231-239.
- 84) Satoshi Watanabe: *Le deuxième théorème de la Thermodynamique et la Mécanique ondulatoire*, Hermann (1935)
- 85) 豊田利幸：「渡邊慧先生のお仕事と生涯」『思想の科学』 2月号, No.13, (1994) pp.98-105.
- 86) 豊田利幸：「渡邊慧先生を悼む」『日本物理学会誌』 Vol.49, No. 7, (1994) pp.579-581.

## (Abstract)

Louis de Broglie (1892-1987), a French physicist who proposed the idea of matter waves, kept away from the Copenhagen school that drove the formation of quantum mechanics and took a different position in the interpretation of it. Following de Broglie’s theory, E. Schrödinger (1887-1961) developed wave mechanics, then de Broglie’s original thinking was gradually forgotten in history.

This paper analyzes how de Broglie’s theory, which stands out for its unique idea in the history of quantum mechanics, was accepted in Japan. It is revealed that Tokio Takeuchi (1983-1944) was one of the first physicists who introduced de Broglie’s theory in Japan and he took notice of it based on his view that the theory of relativity and quantum theory should be unified. We also elucidate the reason why Satoshi Watanabe (1910-1993) dared to have translated de Broglie’s book instead of the Copenhagen school’s book in a purposeful manner. Previous studies treated introduction of quantum mechanics into Japan in terms of Copenhagen interpretation mainly. This study intends specifically for the introduction of de Broglie’s matter waves into Japan.



