

# ハイゼンベルグの手書き原稿

## ーハイゼンベルグと西島

福来正孝 ふくぎた・まさたか

IPMU主任研究員

IPMUの図書室の入り口を入りまっすぐ進んだところに、20世紀の偉大な物理学者、ヴェルナー・ハイゼンベルグの手書き原稿が展示されている。

相対性理論と量子力学が前世紀に出現した二つの最も革命的な概念であることについては、すべての物理学者に異論はない。これらは現代の物理学に不可欠の概念である。しかし、その発展は極めて対照的であった。相対論は一人の天才、アルバート・アインシュタインが、動機となるような何の実験事実も無しに物理学の基礎における論理的無矛盾性と美学の追究により創造し、発展させた。一方、量子力学は1900年のマックス・プランクに始まるヨーロッパの多くの指導的物理学者が、新たに得られた実験結果を矛盾無く説明する必要性に迫られて展開した研究によって得られたものである。この発展の間、ハイゼンベルグはドイツのゲッティンゲンにおいて量子力学理論の完成に対し決定的な一歩を踏出した。

ハイゼンベルグは、原子中の電子の運動と原子から放射される光を支配する法則を発見したのである。1925年7月の発見直後、彼の「奇妙な」法則は数学者の呼ぶ「行列の乗法」に他ならないことが判明した (Born, Heisenberg & Jordan, November 1925)。乗法について非可換 (かけ算で二つの数の順番を入れ替えると同じ結果にならない) というこの数学の概念は、物理学者には全く馴染みのないものであった。ハイゼンベルグはこの数学を知らなかったが、原

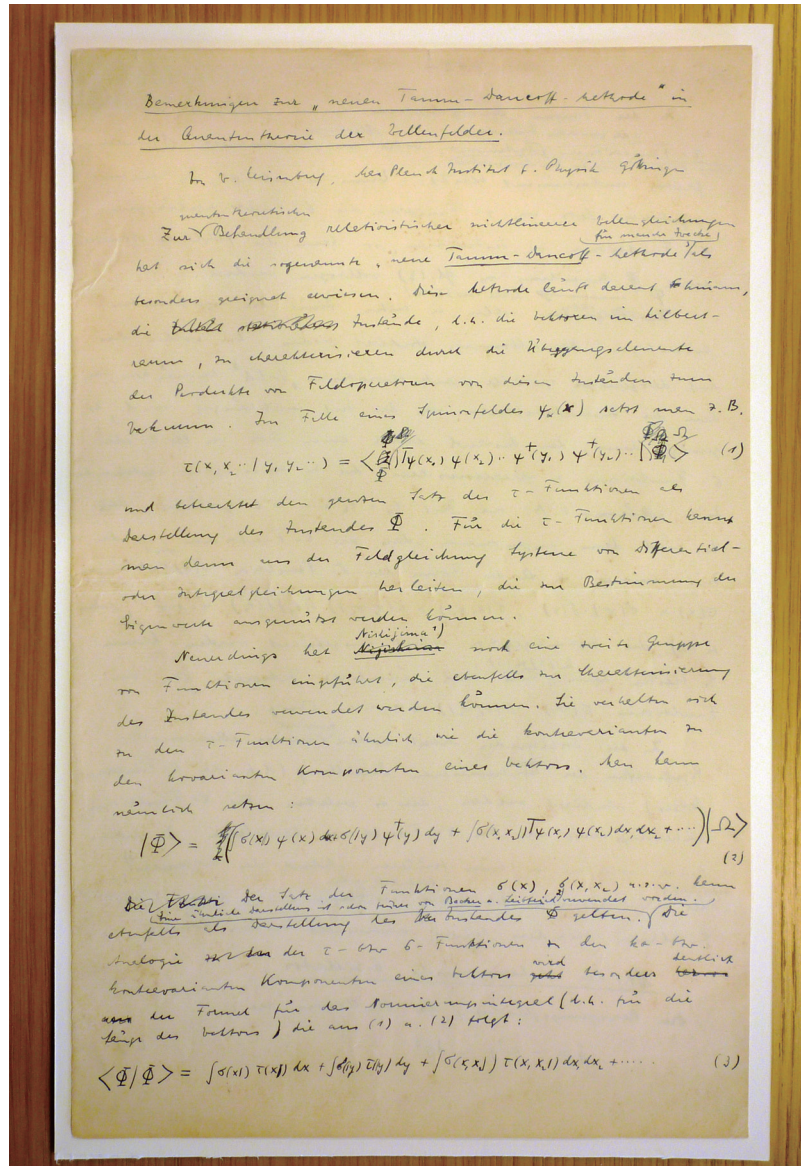


図1 IPMU図書室に展示されているハイゼンベルグの手書き原稿第1ページ。

子物理の経験的に得られた特性を深く考えることにより独自に発見したことを強調しておきたい。1年後にエルヴィン・シュレディンガーが原子の振舞いを支配すると思われる波動方程式を発見した。このシュレディンガー方程式は見かけ上ハイゼンベルグの行列力学とは全く異なっていたが、二つの方法により同一の結果が得られた。これらが数学的に同値であることに物理学者が気づくには一年も要しなかった(グヴィッド・ヒルベルトはこのことを初めから知っていたと言われている)。この研究は原子物理だけでなく、原子核物理と素粒子物理の理論的基礎となった。(ところで、アインシュタインの一般相対性理論も、当時の物理学者にとって全く新しい数学的概念であったリーマン幾何学に基づいている。アインシュタインが一般相対性理論の構築にとりかかった当初、友人で同級生のマルセル・グロスマンから話を聞くまではリーマン幾何学について全く知識を持ち合わせていなかった。これらは、物理学の進展に新しい数学が決定的に重要であった二つの実例である。)

この発見だけでもハイゼンベルグを超一流の物理学者たらしめるに十分であったが、彼はその後も第一級の業績を挙げ続けた。ハイゼンベルグの不確定性原理(量子力学を理解するための鍵であると共に、その核心)の発見、原子核が陽子と電子ではなく陽子と中性子から構成されることとアイソスピンの概念、強磁性体の原理、および素粒子とその力学を記述する基礎理論である量子場の理論の構築(ヴォルフガング・パウリとの共同による)などが列挙される。彼はこのすべてを30歳になる前に成し遂げた。後に、素粒子の相互作用を記述する散乱行列の基礎概念も提案している。

第二次大戦中、ドイツおよびドイツの科学は連合国の空襲だけではなく自らの体制によっても壊滅し

た。ハイゼンベルグが所属していたベルリンのカイザー・ヴィルヘルム物理学研究所も同様であった。戦後、ハイゼンベルグはドイツの科学の再建に助力できるものと考えて国に残り、ゲッティンゲンにおけるカイザー・ヴィルヘルム研究所の再構築に努力を傾けた。しかし、英国の占領軍(ゲッティンゲンは英国の占領地域であった)により「カイザー(皇帝)」という名前を用いることは禁止された。ハイゼンベルグは同僚たち、中でもとり

わけオットー・ハーンと共に研究所の再構築を成し遂げたが、その名前は新たな「マックス・プランク研究所」となった。

1953年以降、ハイゼンベルグは非線形スピノル場理論が素粒子の世界とその相互作用を記述するであろうと期待をかけ、その構築に没頭した。ハイゼンベルグはこの研究を進めるうちに、西島によって行われた研究に強い印象を受けたため、戦争直前に彼に師事した朝永に対し1955年8月に手紙を書いて、西島が

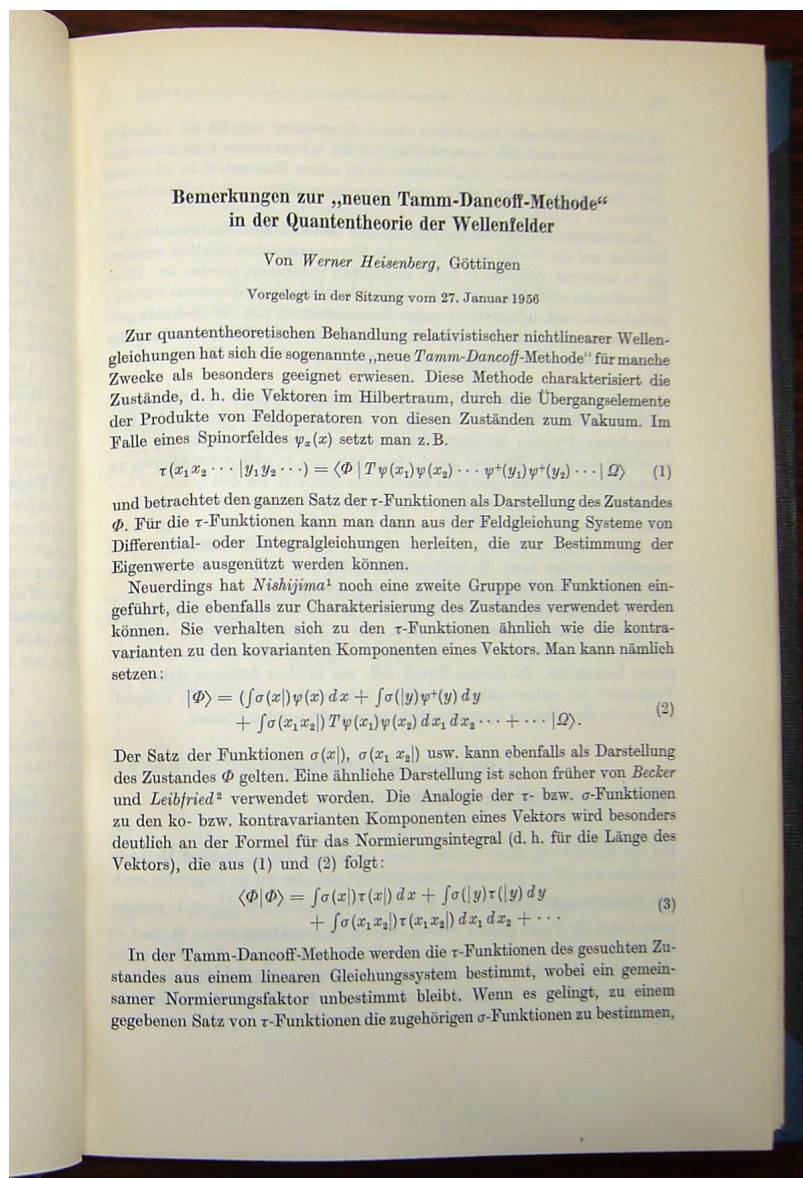


図2 出版されたハイゼンベルグの論文の第1ページ。図1の手書き原稿に対応。(お茶の水女子大学所蔵の資料を撮影。)



1年間ゲッティンゲンに来る気はないかと問い合わせた。西島はハイゼンベルグの申し出を喜んで受諾し、1956年1月にゲッティンゲンにやってきた。

西島和彦は1926年の生まれで、東京大学に学び、その後早川幸男に誘われ、新たに設立された大阪市立大学の素粒子物理学者グループ(渡瀬譲の要請に応じて作られた)に職を得た。この新しいグループには教授として南部陽一郎、助教教授として早川、講師として山口嘉夫、助手として西島和彦と中野董夫がいた。このグループは強力で、当時続々と報告された新たな実験結果の解釈に大きな成功を収めていた。例えば、現在は「ストレンジ粒子」と呼ばれている新粒子が常に一對として生成されることを仮定して、それらの基本的な性質を説明した。西島はさらに大胆に推論を進めた。それは結局正しかったのだが、新粒子K中間子のアイソスピンが整数ではなく1/2であるとしたのである。彼は次に $\eta$ 電荷という量子数(後にストレンジネスと名付けられた)を導入し、現在西島・ゲルマン則と呼ばれている法則を提案した。実はこの法則は高次の対称性が破れて低次の対称性になるときの一般的な法則であって、西島の時代には知られていなかった多くの概念に適用されるものである。

ハイゼンベルグが非線形場の理論を構築していた間に、1953年の*Progress of Theoretical Physics*に掲載された西島の論文が彼の注意を引き、1955年8月の朝永を通じての招待となったのである。IPMUの図書室に展示されているのは、*Nachrichten der Akademie der Wissenschaften in Göttingen, Math.-Phys. Klasse* (ゲッティンゲン科学アカデミー報告 数学・物理学篇) IIa, p. 27-36 (1956)に掲載された『量子場の理論における「新タム・ダンコフ法」に関する考察』と題するハイゼンベルグの論文の手書き原稿第1ページである。(IPMUにはこの論文の原稿全体が保管されている。)この論文は、彼が「タム・ダンコフ法」と呼んだ、非線形スピノル理論に於いてある種の打切りを行った非摂動

論的取り扱いと、フェルミ粒子の質量及びフェルミ粒子の束縛状態としてのボーズ粒子の質量を単純化されたモデルの最低次近似で計算することを目的とする。ここでは、場の理論で束縛状態を取り扱うために状態ベクトルの共変表現と反変表現を別々に取り扱うことが重要であった。この取り扱いは西島により複合粒子の散乱行列を議論した論文で考え出されたものであった。

ハイゼンベルグはアカデミーで報告する前に西島の意見を聞くためこの原稿を彼に渡したのではないかと推測される。西島は、2009年2月に白血病のため82歳で亡くなるまでこの原稿を手元に置いた。

西島はゲッティンゲンでの滞在を半年間延長したことが、ハイゼンベルグから渡瀬に送った西島の滞在延長の許可を求める手紙から見て取れる。その後西島はプリンストン高等研究所に行き、そこでのルドルフ・ハーク及びヴォルフハルト・ツィンマーマンとの複合粒子の散乱行列に関する研究は、現在HNZ構成と呼ばれている成果となった。ハイゼンベルグと西島は2年間に渡り、特に $\gamma_5$ の役割とその頃の驚くべき発見、場の理論におけるパリティの破れについて頻りに連絡をとり続けた。西島は1959年に大阪市立大学に戻ったが、その後イリノイ大学のアーバナ・シャンペーン校に行き1966年まで教鞭をとった。その間に高い評価を受けた教科書、*Fields and Particles* (W. A. Benjamin社から1969年刊行)を執筆している。彼はその後1985年に京都大学基礎物理学研究所長就任を依頼されるまで東京大学で研究を続けた。