

並木美喜雄

確率変分学と量子力学： 保 江 邦 夫

確率算法と量子力学的確率過程： 長谷川 洋

コ メ ン ト*： 柳 瀬 睦 男

以下に，*印の原稿を掲載する。[†]印は長文のため素粒子論研究の論文欄に掲載する。

量子力学における観測理論 — 総合報告と問題点整理

早大・理工 並 木 美喜雄

量子力学の観測問題をめぐって、これまでに数多くの研究が行われてきたが、ここでは不可逆過程と v. Neumann-Wigner 派との対立論争を中心に紹介した。同時に、その対立論争を通して問題点を整理し、この研究会の討論の参考にするのが目的である。不可逆過程派は測定による波束の収縮の主原因を測定器内で起る現実の熱的不可逆過程であると主張する。これに対して、v. Neumann-Wigner 派は、量子力学の枠内では測定による波束の収縮は実現していないと考え、Wigner-Fine の定理と NEGATIVE RESULT MEASUREMENT のパラドックスによって、不可逆過程派の論拠を攻撃してきた。一言でいえば、観測理論または測定過程論は Wigner-Fine の定理を突破し NEGATIVE RESULT MEASUREMENT の思考実験における波束の収縮を説明するようなものでなければならない。くわしい内容は下記の公刊論文を見ていただきたい。

- 1) S. Machida and M. Namiki, Prog. Theor. Phys. **63** (1980) 1457, 1833.
- 2) 町田 茂, 並木美喜雄, 「科学」**50** (1980) NO.12, 759; **51** (1981) NO.1 36.
- 3) 並木美喜雄, 科学基礎論学会誌, 1981年4月号—近刊.

量子力学における観測理論 — 新しいアプローチ

早大・理工 並 木 美喜雄

前掲の論文1)と2)で発展させた新しいアプローチを中心に、問題解決の方途を探る。通常、測定前には、観測対象系は重ね合せ状態にあり、測定器系は混合状態にあると考えられているが、Wigner-Fine の定理はその状態から出発しても測定過程が量子力学の主張するユニタリ的時間発展で記述されるかぎり、波束の収縮が実現しないことを証明するものであった。

不可逆過程派は時間発展のユニタリー性を犠牲にして波束の収縮を導出したが、その点を v. Neumann-Wigner 派は納得せず、ひとつの重要な論争点になっていた。しかし、Wigner - Fine の定理における測定系密度行列は、たとえば、 $\rho(D) = \sum_n w_n |\Phi_n(D)\rangle\langle\Phi_n(D)|$ のような形で測定器サイズ D に依存していたことに注意する必要がある。— ただし、 $\Phi_n(D)$ は測定器内部状態の定常状態固有関数、 w_n は Boltzmann 因子である。当然のことながら、 $\Phi_n(D)$ に含まれる D はマイクロ尺度上のパラメータである。一方、我々が実際に測定するのはマクロ尺度上のサイズであり、マクロ尺度上の 1 点はマイクロ尺度上では少なくとも原子サイズ以上の大きな領域 (ΔD) を覆っているはずである。したがって、現実の測定器を表すには、 D をある値 d のまわりの幅 ΔD について平均しなければならない。この平均操作はマイクロ・マクロ尺度変換を与えるものであり、通常の量子力学では明確に定式化されていないマクロ物体の「マクロ性規定」に他ならない。もっとも、定式化されていないとはいえ、この操作は物性論におけるマクロ量の定義や散乱理論などでいつも行われているものでもある。この操作の導入によって Riemann-Lebesgue の定理を使うことができ、Wigner-Fine の定理に抵触せずに測定による波束の収縮

$$W \cdot e^{-\frac{i}{\hbar} H t} \rho^{t_0 t} e^{\frac{i}{\hbar} H t} \rightarrow \sum_i |c_i|^2 \xi(u_i) \sigma_i^A$$

を導出することができる。ただし、 W は上記の平均操作、 H と $\rho^{t_0 t}$ は全系のハミルトニアンと密度行列、 $\xi(u_i)$ は対象系力学量 F の i 番目固有状態 u_i への射影演算子、 c_i は測定前の状態の u_i による展開係数、 σ_i^A は i 番目固有状態 u_i を確認したさいの測定器系状態を表す密度行列である。以上の事柄を、簡単な剛体鏡運動量測定器モデル、現実に近いカウンターモデル、一般的測定過程論によってくわしく説明した。また、我々の理論は NEGATIVE RESULT MEASUREMENT における波束の収縮を導出することもできる。具体的内容は、前掲論文1), 2), 3) に委かせる。なお、3) には 1980 年 6 月の科学基礎論学会シンポジウムおよび今回の研究会における質問とそれについての我々の考え方や議論が紹介されているので、興味のある方はお読みいただきたい。