

観測の理論へのコメント

柳 瀬 睦 男

このたび久しぶりに短期研究会に出席して、多くの刺激を受け、そして新しい発表についての勉強をすることができたのは大変幸いでした。

少し回顧的な話をさせていただきますと、私が十余りの空白の後に、再び物理学の勉強を始めることになったのは、1959年のことでした。プリンストン大学に留学してウィグナーの下で観測の理論を勉強するという考えをサジェストし、助けて下さったのは、朝永先生と山内先生ですが、その直前、この基研に、かつての同級生で、しかしその時既に大先輩となっていた木庭二郎、早川幸男の両教授をお訪ねし、いろいろと新しい勉強の分野について——私は実験物理から理論物理に移ることになったので——、その注意を受けました。お二人に、最新の研究では二年も何もしないで過ごせばたちまち遅れてしまうということ聞かされ、尤もな話だと首肯していたのですが、但し、その頃、観測の理論を真面目に勉強する学者は、世界中で殆んど五指に入ってしまうほどの僅かな人数でしたので、私にとって、この分野は文献も少いし、ゆっくりと、理論的な問題を、特に認識論的な問題との関わり合いを研究する基礎として適当であらうということになりました。

その後、この基研では、概ね十年に一度、量子力学の解釈問題、あるいは観測問題についての研究会がもたれてきました。しかし、最近では、『ISQM』（量子力学の基礎と新事実）という国際会議が三年毎に東京で開催されるようになり、そのための準備や終了後のディスカッションをここで行うようになったので、十年は三年に短縮されることになりました。それは、この問題についての新しい視野、即ち、新技術を使った実験的な研究の可能性の拓けてきたことに因るのが大きいと思います。

さて、今回の研究会では、先の八月末の東京での『ISQM』で議論されたこと以外に、取り立てて新しく述べられた事柄はなかったようですが、しかし、問題の整理には有益でありましたし、特に鈴木増雄氏等の寄与は非常に刺激的でありました。観測の理論に関する町田、並木、荒木理論（MNA理論）におけるその数学的な枠組としての連続超選択則は、筆者にとっては従来の枠組の極めて自然な発展であり、そしてマクロなシステムの記述方式として適当なものであるという筆者の考えは、今回の議論でさらに裏付けられたように思われます。また、連続超選択則の数学的枠組の物理的解釈、特にマクロ系の定義において、従来の形式論理よりも、ファジー理論における概念の定義の仕方の適用が自然であろうという主張に関して、小沢氏がその数学基礎論的基礎付けを論じられたのは、注目されるべきであると思われました。今後の発展をさらに期待したいと思います。

今後の問題として、私には、連続超選択則を用いたマクロ・システムの記述、とりわけ C^* 環を使った記述の仕方がこれからの理論的発展に役立つのではないかという点と、鈴木増雄氏の展開しておられる理論との結びつきがどのようになるのかという点が、興味ある方向に発展するであろうと思われます。私自身の哲学的な関心からいえば、これらを基にした認識論的及び存在論的な議論が、従来よりも精密に、そ

して自然科学との関連において興味深く発展させることができるように思います。その際、マクロな認識装置としての観測機械の他に、人間自体を同様に観測の機械と考えることができる。しかしまた、その機構は普通の機械とは異なり、その中に人間としての自意識のメカニズムを取り込んでいるという点を特に採り出して議論するためには、大脳生理学を中心とした人間の外界からの刺激に対する認識のメカニズムの解明が、今後、必須であると思われます。この点に関して、さらに大きなスケールでいえば、宇宙論における「人間原理」と「宇宙原理」の関係、また、物理学的発展の基礎をもつ「人間原理」と哲学的な意味での認識論・存在論との関わり合いも、極めて興味のある可能性をもつ問題群であると思います。

今回の研究会では殆んど採りあげられず、また、「ISQM」においても議論のなかった問題の中で、私が気になっているものの一つは、保存量と観測過程との関わり合いの問題であります。これについては、一般的な観測理論の本であればどれにでも載っているにも拘らず、その後あまり発展が見られていないようなので、一言付け加えておきたいと思いました。研究会では、準備の時間がなかったために発表する機会を失しましたが、それをここで少し補わせていただきたいと思います。

御存知のように、この問題は、von Neumann の観測過程の理論では、もし観測すべき量が、系全体の additive conserve quantity と可換でない場合には或る error を生ずるという、Wigner の指摘から始まりました。その後、荒木、柳瀬が Wigner の idea を一般化し、また柳瀬は、そこに含まれている一つの結論、つまり、観測装置が大きい場合、大きいという意味を別に決めなければなりませんが、その場合にはその error を小さくできるという Wigner の指摘について、その estimation をさらにやや詳しく調べました。実は、この点については、Wigner から聞いた話によれば（このことは町田氏の記念会で話をしたのですが）、Wigner が 1952 年にこの問題を書いた時、von Neumann はまだ存命中で、再び興味を抱き出して、Wigner の estimation に関して、その error が大きさの二乗に反比例するという結果を自分が得たと、話したとのことでした。Wigner はそのことが気になっていたようで、私がプリンストン大学に留学して、その問題を研究しようと申し出た時、その話をしてくれました。私の得た結果は非常に特殊な場合に関するものなので、その一般化の問題については、常に気になっていたのですが、今日まで手を着けずにあります。町田、並木理論の連続超選択則の formalism でこの問題がどうなるのかという点を、熊倉功二氏が調べ、negative な部分、即ち、超選択則の formalism においても、additive conserve quantity と非可換な観測量は、観測に error を生ずるという結論が出ています。（未発表）

第二の、positive な部分、即ち、その estimation はどうなるのかという点については、まだ結果が得られていません。この問題は、error をどのように定義するか、また、その estimation をどうするかという問題の他に、Wigner がその後発展させた skew information という考え方があります。即ち、情報が観測対象から観測装置を通じて流れてくる時、観測によってその information が完全に伝わらない場合がある。つまり、超選択則の場合にはその観測情報はゼロである。また、additive conserve quantity と可換な場合にはそれは雑音なしに伝わり、非可換な場合にはそれは error を含む。即ち、雑音が混ってくるというように考えると、情報理論との parallelism がそこに浮かび上がってくるということを、昔、考えておりました。この問題も、skew information という量の convexity についての Wigner, Dyson, Yanase の conjecture が、その後、Lieb によって極めて一般的に証明され、発展させ

研究会報告

られたことの他は、まだ手が着けられていないように思います。この点も、興味をもつ方の今後の研究に待つところが多いように思います。

文 献

- 。「量子力学における観測の理論」 柳瀬, 並木, 町田編 新編物理学選集 69, 日本物理学会, 昭和 53.
- 。 *Quantum Theory and Measurement*. ed. J. H. Wheeler and W. H. Zurek, Princeton Series in Physics. Princeton University Press. 1983.
- 。「現代の物理学と新しい世界像」 柳瀬睦男著, 岩波現代選書, Ⅲ, 1986.

量子力学と Boole 値解析学

名大・教養 小 澤 正 直

通常、数学の命題は真か偽かの二値論理によって解釈される。最近の数学基礎論の成果によれば、そのような数学の推論法則を変えずに、連続無限個の中間的真理値をもつ Boole 値論理によって、集合論を解釈することが可能である。現在の数学、特に解析学は、集合論によって、その概念構成が基礎付けられているから、このような Boole 値論理によって解釈される集合論を展開することにより、Boole 値論理に基づく数学が展開されることになる。今日、このような方法の解析学への応用は、Boole 値解析学と呼ばれている。

量子力学の観測問題に関連して、町田・並木両氏は、測定される対象と測定装置の合成系の量子力学的記述に、荒木氏によって提唱された連続超選択則を適用することにより、合成系の波束の収縮を説明するモデルを提案した。柳瀬氏は、この理論（以下、MNA 理論と呼ぶ）が、例えば、装置に含まれる粒子数を不定にしたまま量子力学的状態記述を可能にするなどの、物理系の概念規定の曖昧性を実現していることに着目して、ファジー論理に基づく、理論の認識論的基礎付けを論じている。

竹内、千谷両氏の研究によれば、現行のファジー集合論は、直観主義論理に基づく集合論の一種と考えられる。そこで、柳瀬氏の構想に従って、直観主義論理に基づく量子力学を展開することにより、MNA 理論の認識論的基礎付けが得られることが期待される。しかし、このプログラムには、一つの技術的困難が含まれている。

ファジー集合論、又は、一般的な直観主義論理の推論法則では、排中律が成立しない。従って、この直観主義論理に基づく数学を展開するためには、古典論理の推論法則に基づく数学を一度放棄して、新たに弱い推論法則に基いて、数学を再構成する必要がある。勿論、これは、古くはブラウアーの主張したプログラムであると共に、直観主義集合論と層の理論やトポスの理論と関連した大変興味深いテーマである。しかし、MNA 理論の認識論的基礎付けという我々の目的に比較して、その技術的困難が支払うべき正当な代