

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 9 日現在

機関番号：17102

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23720017

研究課題名(和文)二状態ベクトル形式による新しい量子力学の解釈の提案と因果概念及び時間概念の分析

研究課題名(英文) Suggestion of a new interpretation of quantum mechanics and analyses of concepts of causation and time using two-state vector formalism

研究代表者

森田 邦久 (Morita, Kunihisa)

九州大学・基幹教育院・准教授

研究者番号：80528208

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,700,000円、(間接経費) 510,000円

研究成果の概要(和文)：アハラノフらによって提案された二状態ベクトル形式(TSVF)と言われる量子力学の新しい形式を用いて、量子力学の新しい解釈を提案した。TSVFでは、ほとんどの場合において、系が、ある時点である状態をとる確率を計算した時、1つの状態のみが確率1で、他が0になる。このことから、量子力学においても、測定前から系は明確な物理量をとっていたと解釈できることを示した。また、このことから、未来の実在性、逆向き因果の可能性についても議論した。

研究成果の概要(英文)：I suggested a new interpretation of quantum mechanics, using two-state vector formalism suggested by Aharonov etc. In most cases, TSVF predicts state of the system with probability 1. For this reason, I show that the physical quantity in the system has had a definite value even before the measurement. Furthermore, I argue the reality of the future and possibility of the retro-causality.

研究分野：人文学

科研費の分科・細目：哲学・哲学倫理学

キーワード：量子力学 科学哲学 二状態ベクトル形式

1. 研究開始当初の背景

量子力学における哲学的問題として、以下のようなものが指摘されている。すなわち、(1) 波動関数の収縮、(2) 非局所相関、(3) 測定前の物理量の非実在である。まず、波動関数の収縮は、これを認めることによって「射影公準」という量子力学の体系外の仮定を認めなければならない点が問題である。一方で、射影公準を認めないタイプの解釈である「多世界解釈」や「ド・ブローイ=ボーム解釈」では非局所相関を認めざるをえないという難点がある。非局所相関を認めてしまうと、閉鎖系の確定が難しくなり、その結果、系どうしの因果関係を確定するのも困難になる。

2. 研究の目的

本研究では、「二状態ベクトル形式(TSVF)」と呼ばれる量子力学の1つの形式をベースにして、新しい量子力学の解釈(時間対称的な解釈)を提案する。同時に、この解釈にもとづいて、因果概念および時間概念を分析し、これらにまつわるさまざまな哲学的問題を解決することを目指す。

3. 研究の方法

量子力学のもたらす哲学的な側面に注目し、厳しい批判を浴びせたのはアインシュタインである。本研究ではアインシュタインの量子力学にたいする哲学的批判に注目した。彼の批判は現在でも十分に通用するものであるが、あまり注目されていない。本研究では、まずアインシュタインの科学哲学をあきらかにし、その量子力学批判が妥当なものであることを示した。そして、その一方、彼の批判はあくまで量子力学の従来の「解釈」に妥当するものであることも示し、われわれの新しい解釈である「時間対称的な解釈」では、アインシュタインの批判を避けることができることを示すことにより、本解釈の有用性を示すという方法をとった。

4. 研究成果

アハラノフらが提案した量子力学の新しい形式である二状態ベクトル形式を用いて、新しい量子力学の解釈(時間対称的な解釈)を提案し、さらにその新しい解釈によって量子力学におけるいくつかの哲学的問題が解決できることを明らかにした。量子力学における哲学的問題として、以下のようなものが指摘されている。すなわち、(1)波動関数の収縮、(2)非局所相関、(3)測定前の物理量の非実在である。まず、波動関数の収縮は、これを認めることによって「射影公準」という量子力学の体系外の仮定を認めなければならない点が問題である。一方で、「非局所相関」「測定前の物理量の非実在性」に関しては、これらは問題ではないと考える論者もいる。だが、「局所性」や「物理量の実在性」は、物理法則を形成する上で必要なものである。まず局所性の不成立は、ある系が閉鎖系であるかの判断を不可能にし、そのことによって閉鎖系で議論される物理法則の形成を不可能にする(アインシュタインが非局所的な性格をもつ量子力学に反対にしたのはまさにこの理由であった)。また、物理量の実在性を否定することは、たしかに、経験論的な考えでは可能ではあるが、因果律を否定することにつながり、因果律はやはり物理法則の形成上不可欠のものである。さて、従来の量子力学の解釈(ボーム解釈、多世界解釈)においては、(1)と(3)の解決に主眼が置かれていたように思われる。これはひとつには、アスペの実験等によって非局所相関が実験的に確認されているように思われてきたことと、(1)-(3)すべてを同時に解決する解釈は不可能だと思われてきたことによる。だが、本プロジェクトで提案された新しい解釈は、これらすべての問題を解決できる見通しをつけたという点で画期的である。では、本解釈によってどのようにしてそのよ

うなことが可能になったのであろうか。

本解釈の特徴は、従来の解釈が過去の状態のみから現在の状態が決定されるとするのに対して、未来の状態もまた現在の状態に影響を与えるというものである。このことによって、ある時刻での物理量を測定したときの測定値の確率が1か0になることがわかる。すなわち、その物理量は明確な値を測定前から持っているのである。こうして物理量の実在が保証される(3)。また、複数の過去に相互作用した系において、一方の測定が空間的に遠くはなれたもう一方の対象に影響を与えるという非局所相関の問題も、未来の測定によって、相互作用を終えた瞬間にもう一方の物理量も決定されていると考えれば、解けることが示された(2)。同様に、波動関数の収縮も必要がないことがわかる(1)。なぜなら、時間対称的な解釈においては、測定直前と直後で波動関数の変化がないからである(測定前にすでに測定後に系がとる量子状態を表現する波動関数となっている)。

また、量子力学を批判してきたアインシュタインが提示した「アインシュタインのジレンマ」と呼ばれる問題についても、時間対称的な解釈によって解決できることを示した。「アインシュタインのジレンマ」とは、「量子力学は不完全であるか、非局所性があるかのどちらかである」とするものである。しかし、上述のように、本解釈では非局所性を避けることができ、なおかつ、特に「隠れた変数」を要求するものではないので、量子力学は完全であると考えてよい。

さらに、時間対称的な解釈は、逆向き因果の存在を示唆するように思えるが、逆向き因果はある条件のもとで可能であり、かつ本解釈において示唆される逆向き因果の場面ではその条件が満たされるということを示した。そして、時間対称的な解釈では、

四次元主義が示唆されるということも議論した。ただし、これらの議論についてはより深い議論がなされるべきであり、それは2014年度以降のプロジェクトによってなされるであろう。

最後に、本研究の副産物として、量子力学の哲学的含意について批判を続けてきたアインシュタインの科学哲学に関する研究がある。一見すると、アインシュタインの量子力学批判は、アインシュタインが大きな影響を受けたとされるヒューム哲学と矛盾するようであるが、アインシュタインのヒューム哲学に対する態度は一貫していることを示した。

これらの研究成果は、2011年5月に愛媛大学で行われた科学基礎論学会にて発表された。7月にはフランスのナンシーで開催された国際会議にて発表した。また、9月には『量子力学の哲学』(講談社)というタイトルで単著として得られた成果を一般にも公開した。さらに、同月、東京工業大学で、10月には高エネルギー加速器研究機構で、12月には明治大学で、それぞれ招待講演を行った。2012年12月は、ほかの研究者と共同で『量子という謎』(勁草書房)を出版し、この中の3つの章「多世界解釈」「時間とエネルギーの不確定性関係」「時間対称的な解釈」を執筆した。ここで「時間対称的な解釈」が本プロジェクトで提案した新しい解釈である(「二状態ベクトル形式」は「時間対称的な量子力学」ともいわれる)。また、他の二つの章も、本解釈を研究するにあたって重要な項目であるので、本プロジェクトの成果といえよう(当該著書にもこれら3つの章は本プロジェクトの成果であることを明記してある)。2013年度に出版された成果はないが、上述のアインシュタインのジレンマについての論文、およびアインシュタインとヒューム哲学の関係を論じた論文を書き上げ国際誌

に投稿し、現在査読中である。さらに時間対称的な解釈についてのこれまでの成果をまとめた単著を書き上げ、専門家のチェックを受け、改稿中である。順調に行けば、2014年秋頃、化学同人から出版予定である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 1 件)

Kunihisa Morita: Scientific Explanation and Pseudo-Scientific Explanation, 14th Congress of Logic, Methodology and Philosophy of Science, Nancy University, France, 2011年7月26日。

〔図書〕(計 3 件)

森田邦久、『量子力学の哲学』、2011年、講談社

森田邦久、白井仁人、東克明、渡部鉄兵、『量子という謎』、2012年、勁草書房

森田 邦久:『アインシュタイン vs 量子力学』(化学同人): 2014年秋頃出版予定

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日:

国内外の別:

取得状況(計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年月日:

国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

森田 邦久 (Morita, Kunihisa)

九州大学・基幹教育院・准教授

研究者番号: 80528208

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

()

研究者番号: