

令和元年6月24日現在

機関番号：32621

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2017～2018

課題番号：17H07100

研究課題名（和文）量子情報理論にもとづく現代のコペンハーゲン解釈についての認識論的研究

研究課題名（英文）Epistemological research on modern Copenhagen interpretation based on quantum information theory

研究代表者

杉尾 一 (Sugio, Hajime)

上智大学・文学部・助教

研究者番号：50802419

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、ボーアによる認識論的量子解釈の立場から物理量概念を分析することで、物理量を実在の要素とみなすのではなく、物理的対象を分節し、理解するための認識の枠組みという認識論的解釈を提示した。そして、近年、論争となっている弱測定による弱値の物理的解釈を認識論的に行い、参照枠としての量子系に依存する物理量とみなす解釈を提示した。言い換えるなら、物理量とその値は、観測者が設定した参照枠としての物理系に依存しており、属性というよりも、私たちが参照枠を通して入手可能な情報と考えることができることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、近年、論争となっている弱値の物理的解釈において、存在論的解釈が先行する中、認識論的な解釈を提示するという点において意義があるといえる。さらに、本研究の特徴ともいえる認識論的観点を物理学にもたらしアプローチは、ボーアの量子解釈を物理学全体に拡張するものであり「物理学とは何か」という伝統的な問いに対しても一石を投じる研究といえる。社会的意義の観点からすると、本研究は、いわゆる理系に属する物理学、人文系に属する哲学を結ぶ研究であり、国内の状況を鑑みて、哲学的分析の有用性を示すことができた考えられている。

研究成果の概要（英文）：This study which is based on Bohr's epistemological interpretation presents a new epistemological interpretation of physical quantity from information theoretical views. This interpretation means that physical quantities should be regarded as epistemological references to divide physical objects into our understanding parts. Furthermore, by applying this interpretation to weak value which is the outcome of weak measurement, weak value can be regarded as epistemological value which is depend on the epistemological reference, so-called quantum system. In other words, physical quantity and its value are depend on references which observers set, so they are available information through the references rather than physical properties.

研究分野：科学哲学

キーワード：科学哲学

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

20世紀初頭に量子論が誕生して以来、観測問題・解釈問題といった哲学的問題は、多くの物理学者を遠ざけ、科学哲学者たちを悩ませ続けてきた。ところが、1987年にアハラノフらによって提唱された弱測定を行うことが可能となったことで、重ね合わせの状態をほとんど壊すことなく得られる弱値（弱測定によって得られる値）の物理的意味をめぐる議論が巻き起こっている。いわば、量子力学における哲学的問題は、再び、物理学の問題となったといえるだろう。同時に、量子基礎論の分野では、量子情報理論を踏まえ、量子論を情報論の観点から捉え直す研究も盛んに行われている。このような物理学的・哲学的背景をもとに、量子論を含め、物理学全般を認識論的に捉え直す機運が高まっていると言えるだろう。そこで、本研究では、科学哲学の立場から、これらの問題に取り組むこととした。

2. 研究の目的

上述の背景をもとに、弱測定・弱値に関する諸問題を新たな量子解釈の問題と捉え、科学哲学の立場から新たな解釈を提示することを目的とした。弱測定・弱値の提唱者であるアハラノフらは、弱値によって量子的実在を捉えることができたと主張する。しかしながら、伝統的な量子解釈を支持する物理学者の中には、アハラノフらの主張に異を唱える人々も多い。本研究も、後者の伝統的な立場を支持しながらも、弱値を認識論的に捉える新たな量子解釈を提示することを目指す。そのために、物理量概念に注目し、哲学的な分析を加えることで、弱値にかかわらず、すべての物理量を認識論的に捉え直すことを目指す。そして、情報論の観点から物理学それ自体を認識論的に捉え直すことを試みた。

3. 研究の方法

古典論から量子論への移行において生じた哲学的問題を明らかにするためには、アインシュタインとボーアの量子論の哲学的立場の差異を分析することが有用であろう。そこで、1935年にアインシュタイン、ポドルスキー、ローゼンが発表したEPR論文と、その論文に対するボーアの反論についての分析を行った。この議論において「噛み合わない点」にこそ哲学的問題があり、実際、両者の物理量についての概念的差異は明らかであった。この差異を分析すると同時に、ボーアの物理量概念が、量子論に限らず、物理学全体の解釈を変えうる可能性があることに注目した。具体的には、測定器の集合を測定結果をもとに類別した同値類の代表元を物理量とする考え方を採用した。そして、この考え方をもとに、古典論の体系と量子論の体系について、体系で使用する言語と概念のずれについての研究を行った。

4. 研究成果

2017年度の研究では、科学哲学の立場から弱測定と弱値について研究を行った。そして、現代的コペンハーゲン解釈をもとに、実在の要素としての物理量概念ではなく、弱値を物理的対象の認識論的要素とする新たな哲学的解釈を導いた。1935年にアインシュタインらが発表したEPR論文では、物理的実在の十分条件として、物理量の値は物理的実在の要素として解釈された。実際、ロック以来、第一性質としての物理量は、物理的対象の属性とみなされてきた。つまり、物理量と値は概念的に結び付けられており、実際、古典論において物理量は値と結びつけられた変数（あるいは、定数）によって表現され、値をもたない物理量などは考えられなかった。

しかし、(固有状態を除いて)観測によって物理量の値が決定される量子論では事情は異なる。量子論では、物理量は(自己共役)作用素として表現され、物理量と値は互いに独立な概念である。結果として、古典論における物理量概念と、量子論における物理量概念は異なる概念であるといえる。したがって、量子論における物理量概念をそのまま古典論と同様の考え方にもとづき物理的実在の要素に結びつけることはできない。ここに、アインシュタインとボーアの物理量概念の理解の差があったと言える。

現在、このような物理量についての概念的混乱を引きずる形で、弱値が量子的対象の実在の要素か否かということが議論されていることから、物理量概念それ自体についての哲学的分析が必要と言えるだろう。そこで、本研究では、観測可能量としての物理量を「私たちが観測する際の認識の枠組み」とする解釈を提示し、この物理量に関する哲学的な洞察を数理的に表現した。そして、このようなアプローチをもとに、弱値を認識論的な物理量と解釈し、弱値を量子的対象に関する新たな捉え方という哲学的立場を提示した。

2018年度の研究では、2017年度に引き続き、科学哲学の立場から量子力学の認識論的問題について研究を行った。特に、弱測定と弱値について研究を行った。2018年度の研究では、私たちの実在に関する概念と、私たちが使用する言語との関連性をもとに研究を進め、量子力学に内在する古典論との概念的差異、また、その差異から現れる概念的問題についての分析を行った。そして、量子論において実在概念を構成することが困難な理由として、古典論から量子論への拡張において緩めた諸概念について分析し、量子論における諸概念が、私たちが日常の言葉遣いで表現可能な具体例へと還元できないことに起因することを明らかにした。

次に、2017年度の研究を踏まえ、物理量を実在の要素とみなすのではなく、認識論的に捉え直す研究を行った。具体的には、2017年度に引き続き、観測可能量としての物理量を「私たちが観測する際の認識の枠組み」とする考え方を踏襲し、先の言語のレベル行った哲学的分析による結果と数学的な結果を照らし合わせることで、言語に関する哲学的分析の結果をより明確にした。

このようなアプローチをもとに、弱値を認識論的な物理量と解釈し、弱値を新たな「認識の枠組み」の一つとみなす解釈を与えた。そして、弱値は実在を捉えているのではなく、あくまで、量子の対象を理論的構成物として捉えるための一つ概念と結論付けた。

本研究で明らかになったことは、量子論で使用される諸概念が、古典論から援用されているにもかかわらず、私たちが自然言語の範疇で理解できないということだろう。古典論から量子論への拡張において、物理量を含む諸概念は、その外延を緩めたといえる。このようなことから、古典的世界を語るために調整された自然言語では、量子世界において実在概念を構成することは難しい。そして同時に、物理学は、本質的に認識論の体系であり、その体系において調整された一貫性のある言語を使用すればよいということになる。量子論における哲学的問題は、古典論との対比の中で生じる同音異義語に端を発した概念的混乱が原因であり、本研究によって、その混乱の要因を認識論的立場から明らかにすることができたといえるだろう。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計2件)

杉尾一、物理的“実在”についての哲学的試論、*Journal of Science and Philosophy*, 査読有、vol.1、2018、25-41

杉尾一、物理学における言語と実在の問題、上智大学哲学科紀要、査読無、45巻、2019、1-15

〔学会発表〕(計0件)

〔図書〕(計1件)

西尾成子、安孫子誠也、岡崎誠、杉尾一、井元信之、伊藤憲二、湯浅年子、尾関章、佐藤文隆、川島禎子、窮理、第11号、2018、64

〔産業財産権〕

出願状況(計 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年：
国内外の別：

取得状況(計 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号（8桁）：

(2)研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。