

「コペンハーゲン解釈」とは何か ——ニールス・ボーアと崩壊解釈は両立するか——

森田 紘平*

What is the “Copenhagen interpretation”?
Is Niels Bohr’s interpretation compatible with the collapse interpretation?

Kohei MORITA

§1 はじめに

量子力学の哲学におけるテーマの一つに解釈問題がある。解釈問題とは、その名の通り、量子力学の理論をどのように解釈するべきかという問題である。量子力学の解釈としては、van Fraassen の様相解釈や、DeWitt の多世界解釈、Bohm の隠れた変数理論などが挙げられる¹。中でも、最も有名であり標準的な解釈とされているのが、コペンハーゲン解釈である。一般に解釈問題を扱う際には、標準解釈とコペンハーゲン解釈は区別して用いられるが、量子力学を波束の崩壊を認めるか否かで二つに分けるとすると同じグループに属すと言える。波束の崩壊を認める立場では、量子力学における状態の時間発展に射影公準を認め非連続的な変化を認める（後述）。コペンハーゲン解釈はこの波束の崩壊を認める立場であり、多世界解釈などはそれを認めない立場²である。

コペンハーゲン解釈はその名の通り、コペンハーゲンで生まれたとされる解釈で

* 京都大学大学院文学研究科 k.morita.hand4@gmail.com

¹ 多世界解釈の発案者として Everett が挙げられることが多いが、Everett は「世界が分岐する」といった主張はしていない。確かに、Everett は分岐という概念を用いているが、世界の分岐には言及していない。加えて、隠れた変数「解釈」と呼ぶよりも、隠れた変数理論と呼ぶべきである。というのも、この立場は量子力学が不完全とする立場である。したがって、量子力学の解釈と呼ぶべきではない。ただし、隠れた変数理論は解釈問題の枠組みで扱われることが多いので、ここでは量子力学の解釈として名前を挙げている。

² もちろん、解釈間の関係にも様々な議論があり、例えば隠れた変数理論は多世界解釈の一種であるとか、コペンハーゲン解釈は様相解釈と捉えることができるといった主張がなされている。しかし、本論ではこれらの議論を考えないこととする。

あり、デンマークの物理学者 Niels Bohr が発案者とされることが多い。また、1930年代前後に Bohr を支持していたとされる幾人かの物理学者たちもコペンハーゲン解釈の支持者と考えられている。例えば、Werner Heisenberg や Wolfgang Pauli, Ernst Jordan, Léon Rosenfeld などがコペンハーゲン解釈を支持し、発展させた物理学者であるとされる (Camilleri 2007, pp. 27–28)。中でも特に Heisenberg と Bohr は 20 世紀前半の量子力学の議論をリードしてきた物理学者である。この二人の量子力学解釈はコペンハーゲン解釈と呼ばれることも少なくない。このような立場では、例えば相補性や全体性といった概念に対する態度や、崩壊過程を肯定する態度は Bohr と Heisenberg に共通する量子力学解釈であるとみなされている。しかし、このような捉え方に反して、Heisenberg と Bohr との間に解釈の違いがあることは 1970 年代前後から指摘されてきた。後述するが、崩壊過程を認めるか否かという問題でさえ、Bohr と Heisenberg は異なる立場にある。とはいえ Bohr と Heisenberg が異なる解釈をとっているとしながらも、20 世紀の量子力学史研究ではコペンハーゲン解釈は存在するはずで、その核となる主張が曖昧なだけであるとされてきた。つまり、Bohr と Heisenberg の主張は合致していない部分もあるが、それでもコペンハーゲン解釈なるものが存在し、その内容を明らかにするという研究方針が 20 世紀には主流であった。

しかし、このような研究の方針自体を Howard は否定している (Howard 2004)。Howard はそもそもコペンハーゲン解釈は虚構であり、その内容を探究する試みは無意味であると考えた。Camilleri は Howard と同じ立場をとり、現在では有力な立場の一つと断言している。一方で、旧来の方針を踏襲する Gomatam のような立場もある。どちらの立場が正しいかという問いは本論では扱わない。しかし、この Gomatam の議論は波束の崩壊に関する議論において決定的な問題がある。本論では、その問題点を指摘する。

本稿の構成は以下の通りである。第 2 節では Howard (2004) までのコペンハーゲン解釈研究を概観する。加えて、Kragh (1999) や Jammer (1974) といった量子力学史、および量子力学の哲学の標準的な本においても、コペンハーゲン解釈の内容が曖昧であることが指摘されている点を確認する。続いて、第 3 節では科学史的な側面から現代のコペンハーゲン解釈研究を見る。特に Camilleri はコペンハーゲン解釈の誕生に関する説得的な議論を展開している。第 4 節では、波束の崩壊に注目し、Bohr の解釈との整合性に関する議論を見る。そこでは Howard (2004) と Gomatam (2007) を扱う。そして、第 5 節において Gomatam の議論に対する決定的な反例を提示しよう。

§2 「コペンハーゲン解釈」研究史

現在、コペンハーゲン解釈は虚構であるという主張が主流となっている(Howard 2004; Camilleri 2007; Camilleri 2009)。例えば、Howard は歴史的・哲学的分析を踏まえて、「観測による波束の崩壊、観測者の特権的な役割、主観主義、実証主義が量子力学に含意されていると[コペンハーゲン解釈の支持者とされる]全ての人が信じていたわけではない」(Howard 2004, p. 680 □ 内は筆者)と主張する。現在のコペンハーゲン解釈をめぐる議論は、この主張を軸に展開されている。

2000 年代の議論は「コペンハーゲン解釈がいかに虚構か」という問いを中心に展開されているが、それ以前は「コペンハーゲン解釈とは何か」という形で問われていた。例えば、Stapp は Heisenberg と Bohr の間の不一致を明らかにして、コペンハーゲン解釈とは何かを明らかにしようと試みていた(Stapp 1972)。それに対して、Howard らはコペンハーゲン解釈の内容を探究するという試みを否定する。

Stapp の論文はコペンハーゲン解釈に何らかの統一的な見解があるものとしており、実際、解釈の本質を完全に合理的で一貫した主張として構築できると述べている(Stapp 1972, p. 1099)。つまり、Stapp は明らかに、コペンハーゲン解釈というものが、その内容が明らかになっていないだけだという前提に立っている。実際、Stapp は William James の議論に基づいて、コペンハーゲン解釈は(1)量子論的形式はプラグマティカルに解釈されるべきであり、(2)量子論は原子的現象の完全な科学的説明を与えるという二つの条件を満たす解釈として与える(Stapp 1972, pp. 1103-1105)。このように、Stapp はコペンハーゲン解釈の主張は曖昧になっているだけで、研究によって明らかになると考えていたと言っていだろう。

このように、コペンハーゲン解釈の核を探究する試みがあっても関わらず、1999 年の段階でも、その内容は曖昧なままであった。標準的な量子力学史である Kragh (1999) の内容をまとめよう。コペンハーゲン解釈が Bohr の相補性概念と密接にかかわっているとしながらも、その内容は相補性の本性以上に明らかになっていないと指摘する(Kragh 1999, pp. 207-210)。コペンハーゲン解釈の核は漠然としているとする一方で、Kragh は Bohr と Einstein の論争から、解釈になんらかの枠組みがあるように論じている(Kragh 1999, pp. 212-217)。Shrödinger の猫に関する論争についての記述でも、「コペンハーゲン解釈の枠組み」という言葉を用いて、枠組みは与えられるかのように論じている(Kragh 1999, p. 217)。

§3 コペンハーゲン解釈の現在

Stapp が明らかに、コペンハーゲン解釈の核を探究していたのに対して、Kragh からは核は曖昧だが、枠組みは理解できるという立場が見て取れる。しかし、Howard (2004) 以来、むしろ、コペンハーゲン解釈の内容を探究する試み自体が否定的に扱われている。特に、コペンハーゲン解釈の歴史的な分析をしている Howard (2004) と Camilleri (2009) に注目しよう。

Howard は、統一コペンハーゲン解釈³という量子力学解釈の立場が虚構に過ぎないと論じる (Howard 2004, p. 669)。特に、Bohr が崩壊解釈を支持していなかったことを指摘し、Bohr と Heisenberg ら Bohr の周囲にいた人物が一つの統一的な見解を持っていたという立場を否定する。哲学的な考察は次節で扱い、ここでは「コペンハーゲン解釈は虚構である」という主張の根拠として、Howard が挙げている歴史的な議論を確認しよう。

Howard によればコペンハーゲン解釈という言葉を導入したのは Bohr ではなく Heisenberg である (Howard 2004, p. 675)。Heisenberg が Bohr の下で研究していたことはよく知られている。Heisenberg が Bohr の業績を讃える本の出版に携わっていた際に、コペンハーゲン解釈という言葉を用いたと Howard は論じている (Howard 2004, p. 676)。Heisenberg が用いた意味でのコペンハーゲン解釈は、明らかに波束の崩壊を支持するものであった。実際、Heisenberg は量子系に対して観測を行ったとき、数学的には非連続性が生じてしまうが、非連続的な変化は波束収縮によって生じると論じている (Heisenberg 1955, p. 27)。

Heisenberg が統一的コペンハーゲン解釈を提示したことの動機として、Howard は次のように推測している (Howard 2004, p. 677)。1920 年代、Heisenberg はコペンハーゲンの Bohr の下で研究していた。しかし、1941 年に Heisenberg がドイツの原子爆弾に関する計画を指導したために、Bohr やコペンハーゲンの物理学者らとは疎遠になってしまった。戦後、自身の名誉を回復するために、Bohr らと同じグループの一人であることを強調し、その証拠として実像のないコペンハーゲン解釈を構築したのである。

Heisenberg の意図や目的に関わらず、1955 年に「コペンハーゲン解釈」という言葉

³ 統一コペンハーゲン解釈について Howard は明記していないが、Bohr らコペンハーゲンの物理学者たちが取っていた共通の立場であると言え、本論ではこの意味で用いる。

が用いられて以降、この名称は量子力学の主観主義的な解釈を象徴するものとして認識されてきた。Bohm や Popper などが、コペンハーゲン解釈を自身の議論を構築するために利用した結果、コペンハーゲン解釈は広まっていった。中でも Popper の影響が最も大きかったと Howard は結論づけている (Howard 2004, pp. 678-680)。

Camilleri (2009) においては、コペンハーゲン解釈がどのように誕生したのかという歴史的な背景に関する分析が行われている。特に、東西冷戦という非常に特殊な政治環境と、Bohr の解釈の受容のされ方によって、コペンハーゲン解釈という虚構が作られてしまったと Camilleri は主張している。

1920 年代から 30 年代の量子力学の議論は、主に量子力学の対象の実在性に関するものであった。Einstein が Bohr と行った議論や、彼の EPR 論文はこの一例である。当時、観測とは独立な実在を認める立場の物理学者にとっての論敵は Bohr であり、Bohr とその支持者たちを一つの統一的な解釈を持った集団として捉えていた (Camilleri 2009, p. 34)。Bohr の解釈が主観的・実証主義的であるというイメージがソビエト連邦に波及した際のマルクス主義という社会的・政治的要因に注目すべきであるという点は Jammer も指摘している (Jammer 1974, pp. 250-251)。マルクス主義という要素が 50 年代の標準的解釈批判やその後のコペンハーゲン解釈のイメージを理解するための重要な要素だと Camilleri は考えている (Camilleri 2009, pp. 35-39)。

そもそも、マルクス主義者たちが 20 年代から 30 年代にかけて量子力学を批判していた動機は実証主義批判に由来する。マルクス主義に基づいて、実証主義は主観主義的な観念論と批判されていた。実証主義が批判される中、Bohr や、その周囲の物理学者たちの解釈は、量子力学の標準的な解釈とされただけでなく、実証主義的なものとしてソビエト連邦で受容された。特に、第二次世界大戦が終了し、いわゆる冷戦状態となると Bohr らの量子力学解釈は主観主義で、無知主義であると批判され、ついにはこの標準的な解釈を採用することがソビエト連邦で禁止された。公的にも解釈が否定されると、Bohr らを批判する論文が数多く刊行された。その中で、1952 年に「コペンハーゲン学派」Copenhagen School という言葉が Dimtri Blokhintzev の “Criticism of the philosophical views of so-called ‘Copenhagen School’ ” という論文で用いられている (Blokhintzev 1952)。このようにして、主観主義的、実証主義的であり、Bohr, Heisenberg, Pauli, Rosenfeld らが共に支持している解釈というイメージが確立されていった (Camilleri 2009, p. 37)。その後、Heisenberg がコペンハーゲン解釈という言葉を用いたことで、この呼称は浸透した。一方で、反マルクス主義的な量子力学解釈に対抗する解釈として、隠れた変数理論が構築されるという流れがあったと Camilleri

は論じている (Camilleri 2009, pp. 37–39)。実際, de Broglie や Bohm らはコペンハーゲン解釈批判を繰り返している。

ついで, Camilleri はコペンハーゲン解釈という虚像が浸透していった背景についても分析している。やはりここでも重要な役割を果たしたのは Heisenberg であった。戦後 Heisenberg は 1927 年の Solvey 会議以来, 自身と Bohr が同一の解釈を持っていると主張した。それにより, 解釈をめぐる研究では Heisenberg と Bohr が同じ立場であることを前提して研究が進められることになった (Camilleri 2009, p. 41)。

コペンハーゲン解釈を主張する人物として, Born, Bohr, Heisenberg, Pauli, Rosenfeld らがいるが, 彼らは自身の解釈の違いを公にしなかった (Camilleri 2009, p. 48)。さらに, 彼らが自身の解釈を明示しなかったために, コペンハーゲン解釈というイメージだけが, その内容については統一的な見解を得られないまま, 拡散することになった (Camilleri 2009, p. 43)。

§4 Bohr と崩壊解釈

ここまでで, コペンハーゲン解釈の研究に関する, いくつかの重要な論文をまとめた。この節では, 崩壊解釈と Bohr の解釈が一致するのかという観点から検討する。コペンハーゲン解釈が虚構であるとされる根拠の一つとして, コペンハーゲン解釈の特徴とされていた波束の崩壊を認めるというアイディアが, 支持者の中心人物であるはずの Bohr と両立しないという点が挙げられている。これ以外にも, この解釈の支持者の間で解釈が一致しない概念があり, 結論として, コペンハーゲン解釈が虚構であるとされている。例えば, 相補性や全体性などがその好例であるが, ここでは波束の崩壊に絞って議論を進める。

最初に波束の崩壊を定義しよう。Howard (2004), Gomatam (2007) において波束の崩壊と射影公準は区別されていないので, 本論でもそれに倣う。波束の崩壊とは, ある系 (その状態を $|\psi\rangle$ と表すとする) が観測機器と相互作用することで, この系 ψ は観測しようとした物理量 A に対応する固有状態 $|a\rangle$ に変化することとする。また $|\psi\rangle \neq |a\rangle$ とする⁴。

波束の崩壊を認めるか否かによって, 量子力学の解釈を分類できることはすでに述べた。コペンハーゲン解釈は一般的に崩壊解釈であるとされている。しかし, Bohr は波束の崩壊を認めない。この点に注目して Howard と Gomatam の議論を追って行く。

⁴ 波束の崩壊にはより厳密な数学的な定式化もあるが, ここでは重要ではないので省略する。

Bohr が波束の崩壊という言葉を一度も使っていないという点は Howard, Gomatam によって指摘されている (Howard 2004, pp. 670-671; Gomatam 2007, p. 738). ただし, Bohr が波束の崩壊やそれに類する主張をしていないことは, Teller (1980) や Kragh (1999) でも指摘されている.

Howard は Bohr が崩壊を認めなかった根拠として, 観測の標準的な扱いに関する議論を提示する (Howard 2004, p. 671). Howard によれば, 量子力学の観測過程がどれほど新奇なものであれ, 観測は物理的なプロセスであると Bohr は考えていた. 一方, 波束の崩壊を認めるということは観測に通常とは異なる時間発展を認めることに他ならない. これはつまり, 観測過程が特殊な物理的なプロセスだと考えていることになる. Bohr は 1927 年の Como 会議で以下のように述べている.

量子仮説は, 原子的現象のすべての観測には, 観測装置との無視することのできない相互作用がともなうということの意味している. それがために, 現象にたいしても観測装置にたいしても, 従来の物理学の意味における独立した実在性なるものを付与することはできなくなる. (Bohr [1927]1999, pp. 54-55, 邦訳 pp. 20-21)

この引用は, Bohr が独立した実在を認めていないことを意味している. さらに, Bohr は観測による擾乱を生涯認めることはなかった (Howard 2004, p. 672). 観測機器は古典的に記述して, 対象系は量子力学的に記述するという機器と対象の二元論を Bohr は否定する. むしろ, Bohr の立場では機器と対象はエンタングルメントを起こすのであるから, この二つは分離不可能である (Howard 2004, p. 675). 古典力学の範疇ではエンタングルメントは生じないので, 観測機器が対象とエンタングルメントを起こすなら機器も量子力学的に扱うべきであるというのが理由である.

Howard によれば Bohr は観測過程を物理学における相互作用の一種とみなし特別扱いを認めず, 加えて, 分離不可能性を用いて波束の崩壊を認めていなかった. この分離不可能性は, 機器の扱いと対象系の扱いを区別することを禁じている.

続いて Gomatam の議論も確認しよう. Gomatam も Howard 同様に, 波束の崩壊が Bohr の解釈と両立しないと論じている. しかし, Gomatam は崩壊を量子文脈性と分離不可能性を用いて議論している点で異なっている. さらに, Gomatam はコペンハーゲン解釈に様々なバージョンがあるとしながらも, コペンハーゲン解釈には核があるとして議論している点も特徴的である. この Gomatam の立場は, Howard や Camilleri が明らかにコペンハーゲン解釈になんらかの核を認めないこととは対照的である. 以

下で、詳しくみていこう。

Gomatam は量子文脈性について以下のように定義する (Gomatam 2007, pp. 738–739)。量子文脈性とは、波動関数は個々の系を記述しているが、物理量の明確な値は観測の文脈でしか予測されないというアイデアである。つまり、固有状態・固有値は観測によって、かつ観測が行われた時に作られるとする立場である。この量子文脈性こそがコペンハーゲン解釈を特徴づけるものである。これは Gomatam において波束の崩壊がコペンハーゲン解釈の要素であることを示していると言えるだろう。

Gomatam における崩壊の記述を確認する。Gomatam は波束の崩壊に対して定義を与えていない。しかし、崩壊仮説に対する説明は加えている。そこでは、崩壊が観測によって生じることと、崩壊仮説に基づけば波動関数は、個々の状態と関連していることを述べている (Gomatam 2007, p.738)。量子文脈性は、この崩壊仮説を含む形で定義されている。なので、ここでは量子文脈性に注目して議論しよう。

先の引用でも見たように、Bohr は対象と観測機器を区別するということを認めない。このことを Gomatam は分離不可能性と呼ぶ。ここでの分離不可能性とは、個々の系の記述と量子力学的な形式を関連付けることを認めないということである (Gomatam 2007, p. 739)。言い換えると、量子力学の形式の対象である量子系を観測系と被観測系の全体として捉えることである (Gomatam 2007, p. 738)。

Gomatam は、この意味での分離不可能性と崩壊解釈が両立しないと論じている。換言すると個々の系に対して波動関数を割り当てるとする量子文脈性は、Bohr の分離不可能性と両立しない。分離不可能性に基づけば、個々の系に対して波動関数を割り当ててことは許されない。したがって、Bohr の立場と量子文脈性は両立しない。Gomatam によれば、Bohr の分離不可能性に基づく解釈は、崩壊仮説を回避している。なぜなら、Bohr は個々の粒子に波動関数を関係づけることを認めていないからである (Gomatam 2007, p. 747)。つまり、波動関数は対象だけを独立に記述することが出来ないとする Bohr の立場は、対象だけに波動関数を割り当てることができないとする量子文脈性とは両立しない。この議論は量子文脈性にのみ適応されるものではなく、波束の崩壊にも応用できる。Gomatam の議論を引き継げば、波束の崩壊における二つの時間発展が分離不可能性が両立しないと言えるだろう。

このように Howard, Gomatam はともに崩壊解釈と Bohr の量子力学に対する立場が両立しないと主張している。結論は同じであるが、そこで用いられている議論が異なっており、Howard の議論に比べ、Gomatam の議論には直ちに反例を与えることができる。その点については次節で確認しよう。

§5 Gomatam の問題点

Gomatam (2007) の議論は、分離不可能性によって、波束の崩壊を回避できるという主張であった。しかし、分離不可能性に反せずに波束の崩壊を認めることができる例を提示できる。

Bub が述べているように、観測機器との相互作用による時間発展では、観測機器との相互作用によって生じるユニタリな時間発展と、非ユニタリな時間発展の二つがある (Bub 1999, pp. 34-37)。したがって、波束の崩壊を回避するために被観測系に波動関数を割り当てることができないという分離不可能性を用いても、観測機器と被観測系の複合系において崩壊過程が生じうる。よって、Gomatam の議論は成立しない。より正確には、分離不可能性だけでは、波束の崩壊を否定する根拠たりえない。したがって、Bohr が分離不可能性を支持していたことだけでは、Bohr が波束の崩壊を否定していたことを導けない。

それでは結論も否定されるのだろうか。つまり、観測機器との相互作用によって生じるユニタリな発展と、非ユニタリな発展の二つの時間発展があるという点を Bohr は認めるだろうか。Gomatam の用いる分離不可能性の議論だけでは、この点を十分に否定できない。しかし、Howard の議論を用いればこの点にも反論できる。つまり、前述した通り Howard によれば、Bohr は観測機器の相互作用を特別扱いすることを認めない。Bohr は特別な時間発展を、この場合では非ユニタリな時間発展を量子力学に認めることを否定しているからである。したがって、Bohr は波束の崩壊を認めないと言えるだろう。

§6 おわりに

本論では、2000 年代以降のコペンハーゲン解釈研究について見てきた。現在は Howard (2004) の影響もあり、この解釈が虚構であったとする立場が優勢である。しかし、彼らが共通の概念を使っていたことも明らかである。例えば、相補性や全体性などの概念は Bohr らに特徴的である。とはいえ、彼らが同じ意味で用いているとは言いがたい (Cammilleri 2009, pp. 45-48)。そこで、Bohr らを総称してコペンハーゲン学派と呼ぶことは問題ないだろう。むしろ、コペンハーゲン解釈という言葉よりも、より正確な呼称ではないだろうか。いずれにせよ、コペンハーゲン解釈という言葉が無批判に用いることは非常に危険であると言わざるを得ない。

Bohr の解釈はいまだに議論的であるが、歴史的な分析が十分に行われているわけではない。例えば、Gomatam は本論でも指摘したように、議論には根本的な問題点がある。Bohr の解釈を再定式化しようとする試みは少なくないが、歴史的な分析は少ない。今後は、歴史的な分析に基づく Bohr 解釈を構築していく必要もあるだろう⁵。

参考文献

- Blokhintzev, Dimitri. 1952. Criticism of the philosophical views of the so-called ‘Copenhagen School’ in physics. In *Philosophical problems of modern physics*. Moscow: Academy of Science URSS (in Russian).
- Bohr, Niels. [1927]1999 年。「量子仮説と原子理論の最近の発展」『ニールス・ボーア論文集 1 因果性と相補性』山本義隆編訳。pp. 19–64. 東京：岩波書店。[原書：The quantum postulate and the recent development of atomic theory. In *Atomic theory and the description of nature*. ed. N. H. D. Bohr, pp. 52–91. Cambridge: Cambridge University Press.]
- Bub, Jeffrey. 1999. *Interpreting the quantum world*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Camilleri, Kristian. 2007. Bohr, Heisenberg and the divergent views of complementarity. *Studies in History and Philosophy of Modern Physics* 38: 514–528.
- . 2009. Constructing the myth of the Copenhagen interpretation. *Perspectives on science* 17: 26–57.
- Gomatam, Ravi. 2007. Niels Bohr’s interpretation and the Copenhagen interpretation – Are the two incompatible? *Philosophy of Science* 74: 736–748.
- Heisenberg, Werner. 1955. The development of the interpretation of the quantum theory. In *Niels Bohr and the development of physics: Essays dedicated to Niels Bohr on the occasion of his seventieth birthday*. ed. W. Pauli, pp. 12–29. London: Pergamon Press.
- Howard, Don. 2004. Who invented the “Copenhagen Interpretation”? a study in mythology. *Philosophy of Science* 71: 669–682.
- Jammer, Max. 1974. *Philosophy of Quantum Mechanics: The interpretations of quantum mechanics in historical perspective*. New York: John Wiley & Sons.

⁵ 本論 5 節の議論について有益な指摘を下さいました日本大学北島雄一郎氏に深謝いたします。

- Kragh, Høgle. 1999. *Quantum generation: A history of physics in twentieth century*. Princeton: Princeton University Press.
- Stapp, Henry. 1972. The Copenhagen interpretation. *American Journal of Physics* 40: 1098–1116.
- Teller, Paul. 1980. The projection postulate and Bohr's interpretation of quantum mechanics. In *PSA: Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association* eds. P. D. Asquith and R. N. Giere, pp. 201–223. East Lansing: Philosophy of Science Association.