

相補性の論理的定式化

— 整合的歴史アプローチについて —

藤 田 晋 吾

はじめに

ボーアが量子論解釈の哲学として提案した相補性は、量子力学のコペンハーゲン解釈の中に埋もれ、こんにちでは20世紀科学史の一エピソードとして語られるだけのように見える。量子力学はそれを自由に使いこなせるならば、その原理などどうでもよいのかもしれない。実際、英語が自由に使えるひとにとっては、英語の文法学は面倒で煩わしいだけであろう。だが、相補性に関しては少し事情が異なるように思われる。アインシュタインがボーアとの長年にわたる論争の末に「それに費やした多大な努力にもかかわらず、私はボーアの相補性原理のシャープな定式化に到達できなかった」と述懐したように⁽¹⁾ 相補性の論理的に正確な定式化がいかなるものであるのか、が判然としないのである。

R. グリフィスが1984年に提唱した「整合的歴史」アプローチは⁽²⁾ 私の理解するかぎり、相補性の哲学にもっとも正確な論理的定式化を与えているように思われる。このアプローチはその後、M. ゲルマンとJ.B. ハートルによって「多歴史解釈」と呼ばれて量子宇宙論に適用され⁽³⁾ R. オムネスによって『量子力学の解釈』(1994)⁽⁴⁾ 『量子力学の理解』(1999)⁽⁵⁾ 『量子哲学』(1999)⁽⁶⁾ などの著書において量子力学解釈の普遍的原理として採用された。わが国では牧二郎氏が、オムネスの長大な論文「ヒルベルト空間から常識へ」(1990)を中心にして、このアプローチを紹介している⁽⁷⁾ とくに興味深いのは、牧氏の解説にも見られるように、がんらいこの量子力学解釈の新動向が「客観主義的・实在論的」解釈を標榜して、より具体的にはコペンハーゲン解釈に反対する意図を持って、現われたことである。ところが、結果的にはボーアの相補性の論理的定式化になっている。

ボーアの相補性から何を除去し、それにいかなる補正を施せば、相補性解釈から「整合的歴史」解釈へと移行することになるのであろうか。アインシュタインが量子力学批判のために提出した思考実験を、ボーアはことごとく——つねに相補性に訴えることによって——打破した。だから、相補性は量子力学のパラドックスを治療する万能薬である。だが、万能薬になることによって、相補性のどの成分が薬効を持つのが分からなくなってしまったのである。相補性を受け入れやすくするためにボーアが考案した心理学的・認識論的アナロジーが、逆に、相補性の誤解に導いたのではないだろうか。端的に言えば、相補性を主観—客観問題に結びつけたことが、物理学者たちを誤解させただけでなく、相補性解釈自体をも誤解させたのではないだろうか。主観—客観問題に結びつけたことによって正統派解釈との根本的違いが不鮮明になり⁽⁸⁾ 観測問題を防止するはずの相補性解釈が、あたかも「観測問題を言葉の上だけで解決する理論」でもあるかのような印象を与える結果をまねいたのではないだろうか。

1 ボーアの相補性

フォン・ワイツェッカーはボーア生誕70年を記念して「相補性と論理」(1955)を書いた。⁽⁹⁾ その論文の重要な論点の一つは、交換しない作用素に対応する位置と運動量のような二つの物理量を相補的だとする「並列的相補性」に対して、ボーアのがんらいの相補性は「認識の循環」を表わす「循環的相補性」だとした点にある。ところが、かれは後に次のように注記している。「ボーアはこの解釈に反対して、かれがこの語を使用したときの意味では、相補性は現象の間でのみ、・・・実験において知覚可能なものを言い表すような概念の間でのみ、成立しうるのでと異議を唱えた。・・・それゆえ、ボーアが実際に考えていたのは次のことだということになる。時間-空間記述とは、文字どおり、特定の時刻における粒子の位置記述であり、因果性の要請を満足する記述とは、エネルギーや運動量のように保存法則が妥当する物理量の記述である」⁽¹⁰⁾ だから、確かにフォン・ワイツェッカーはボーアの相補性を誤解していたわけである。かれは「循環的相補性」という解釈を撤回せざるをえなかった。

それでは「循環的相補性」という解釈はどのようにして生まれたのだろうか。ボーアがコモ講演(1927)で述べた時間-空間記述と因果性の要請との相補的関係を、古典物理学の助けを借りてなされる実験の記述と配位空間における Ψ -関数との相補性として解釈し直すことによってである。⁽¹¹⁾ 確かに、配位空間における Ψ -関数は決定論的な運動方程式にしたがい、因果性の要請を満たすから、このような誤解が生まれたとしても驚くに当たらない。しかし、たといその責めはボーアが負うべきもののだとしても、誤解は誤解である。だから、われわれはボーアの相補性とは並列的相補性のことだと理解することにしよう。ところが、そうすると今度は、相補性とはハイゼンベルクの不確定性関係——数学的に定式化可能な関係——を言葉で述べ直しただけの、二つの両立不可能な物理量間の背反的關係に他ならないのではないか、という疑問が出てくる。数学的に厳密に定式化できる関係を、なぜわざわざ誤解をまねきやすい日常の言葉で表現し直す必要があるのだろうか。

問題をもっと具体的に設定してみよう。ボーアは相補性の立場からアインシュタイン、ポドルスキー、ローゼン(EPR)のパラドックスをどのように解決したのだろうか。⁽¹²⁾ 相互作用の後たがいに離れ去った2個の粒子のうち、その一方(粒子1)の位置を測定すれば、他方(粒子2)の位置の値が確実に(確率1で)予言でき、粒子1の運動量を測定すれば粒子2の運動量の値が確実に予言できる。もちろん、実験者は粒子1の位置測定を行なうことも、運動量測定を行なうことも、自由に選択できる。人間の側での自由な選択は、それが何らかの物理的作用を直接及ぼすのでないかぎり、観測される量子の対象に擾乱を与えることはありえない。だから、もし「ある系をいかなる仕方においても乱すことなしに、その系の物理量の値を確実に予言できるならば、その値は実在の要素である」と認めるならば、粒子2は位置と運動量のきちんとした値を同時に持っている、と言える。量子力学はこのような同時的実在を許さないのであるから、それは理論として完全ではないのだ。

この議論に対するボーアの解決は次の引用のとおりである。

上に見たケースにおいて、測定過程の最後の決定的な段階では考察している系[粒子

2] に対していかなる力学的擾乱も加わっていないことは明らかである。しかしこの段階でさえ、その系の将来の振舞いに関していかなるタイプの予言が可能なのかを定める諸条件そのものに対する影響という問題が、本質的なものとして存在する。⁽¹³⁾

[強調は原文]

この引用中で判然としないのは、ボーアが注意を喚起したまさにその部分（傍点部）である。ボーア論文集1『因果性と相補性』の訳者・山本義隆氏はこの部分を解説して次のように述べている。⁽¹⁴⁾「相互作用後の粒子1と2よりなる系は単一の系であり、その測定はたとえ直接には一方の粒子のみに対するものであるように見えたとしても、じつは、その単一の系に対するものであり、粒子1に対して運動量の測定を選べば、その時点で同時に粒子2に対しても運動量についてしか予言できなくなる、という影響が及ぶと考えられるのである」。この解説はたいていの物理学者たちの見解をよく表わしており、これがEPR相関の説明として誤りだというつもりはない。しかし、ボーアの解決の解説としては適切でないと思われる。

そもそも相互作用後の粒子1と2が空間的にどれだけ離れ去っても「単一の系」だと言いつけることは、量子論的分離不可能性を、あるいは非局所的遠距離相関の存在を主張することと同等である。だが問題は、ボーアが分離不可能性や非局所性をはたして本当に主張していたのか、という点にある。もしかれば粒子1と2の分離不可能性を主張したのであれば、ボーアはEPRの前提をたんに拒否しただけだ、ということになる。すると、このときボーアの相補性はどんな効き目を持ったのだろうか。「単一の系」だという説明は、量子力学の標準的な数学的フォーマリズムに従えばそのように扱われる、ということではない。説明が求められているのは、直接測定における実験条件を含めた「全体性」——ボーアが相補性のために愛用した言葉——が、いかにして「系の将来の振舞いに関する予言」の制約条件になりうるのか、である。

EPRの議論は、相互作用した後に空間的に十分分離された一方の粒子1を測定しても、他方の粒子2には何の影響もないこと、その意味で相互作用後の粒子1と粒子2が独立した別個の系であることを前提している。だから、粒子1に対する測定が粒子2に及ぼす遠隔作用の存在を仮定しないかぎり、量子論的遠距離相関は出てこないように見える。しかも、遠隔作用の存在—非存在を論ずること自体、粒子1と2が別個の存在であることを前提しているのではないだろうか。だから、もしボーアが「遠隔作用は存在しない」というEPRの前提を共有するのであれば、かれは相互作用後の二つの粒子を別個の存在と見なしているのではないだろうか。そこで、粒子1と2が別個の存在であると仮定しよう。だが、量子力学にしたがえば遠距離相関は紛れもない事実である。このディレンマを相補性はどのように解決してくれるのだろうか。

議論を見やすくするために、位置と運動量という粒子の連続量の代わりに、スピン1/2粒子のz成分と（zを90度回転した方向の）x成分を例にとり、EPRの論法を次の三段階に分けてみよう。

- (i) 粒子1のz方向のスピン成分 S_z^1 の測定によって、粒子2をいかなる仕方でも乱すことなしに、粒子2のz方向のスピン成分 S_z^2 の値を確実に予言できる。
- (ii) もし粒子1について S_x^1 を測定したとすれば、粒子2をいかなる仕方でも乱すこ

となしに、われわれは粒子2について S_x^2 の値を確実に予言できたはずである。

(iii) それゆえ、 S_x^1 と S_x^2 の値は、粒子2の物理的性質として、ともに同時に存在するの
でなければならない。

ボーアが拒否するのは、言うまでもなく、(i) + (ii) から (iii) への推論である。したがって、問題は (iii) を拒否する論拠にある。

ボーアは「原子物理学における認識論上の諸問題をめぐるアインシュタインとの討論」(1949) では⁽⁴⁵⁾ EPR に対する回答の全論点を遅延選択の可能性に置いた。⁽⁴⁶⁾ 複スリット実験で隔壁をばね秤で吊す思考実験において、その「隔壁の運動量測定を繰り返すか、それとも隔壁の位置を測定するかは、原理的にはわれわれの選択に委ねられている」。ばね秤で吊された光子箱の思考実験においては「光子のエネルギーについての結論を望むか、それとも光子が箱を離れる時刻についての結論を望むか、そのいずれかを自由に選択できる」。いずれの場合も、問題の光子にいかなる力学的影響も与えることなくその振舞いを予言できる。いかなる影響も与えないというのは、光子にとってすでに過去になっている光子の出来事について、われわれは実験装置の操作を事後的に行なうことによって、たがいに排他的な実験結果を入手できるからである。これは過去を変えることができるということではない。実験設定の全体を考慮に入れなければ光子についての出来事が決定されない、ということである。背反的な二つの「実験設定の全体」が存在するのであり、われわれはその中の一つを選択しうるのみなのである。この意味で、アインシュタインが提起した問題はいずれも「きちんと定められた単一の実験にかかわっているのではなく、相異なる二つのたがいに背反的な設定の実験を論じている」[強調は原文]。だから、「この [EPR の] 場合も、以前の討論でアインシュタインが提起したのとまったく同じ種類の問題を扱っていることが分かる」のである。

遠隔作用が存在しないという EPR の前提は、過去を変えることはできないという前提に置き換えられた。われわれに許されているのは、たがいに背反的な二つの「全体」からいずれか一つの「全体」を選ぶことだけである。たがいに背反的な二つの「全体」が相補的なのである。

2 整合的歴史アプローチ

粒子2は、粒子1に対する測定によって「いかなる仕方でも乱されない」のだから、 S_z^1 と S_x^2 の値 ($\pm 1/2$) を同時に持ちうるとする EPR の推論が正当なのか、それとも、ボーアの言うようにそのような推論は許されないのか。これに決着をつけるためには、粒子1に対する測定が行なわれる時刻を t_a 、粒子2に対する測定（も行なわれると仮定して、その）時刻を t_b として、 t_a と t_b の間の時刻 t_1 で粒子2のスピンの状態がどうであったかが知られればよいように思われる。

EPR 思考実験を図1のように描き⁽⁴⁷⁾ C^1 、 C^2 はスピン測定装置を表わすものとする。 t_a で $S_z^1 = +1/2$ であれば t_b で $S_z^2 = -1/2$ であり、 t_a で $S_x^1 = +1/2$ であれば t_b で $S_x^2 = -1/2$ である、と確率1で予言できる。それでは、 t_a で $S_z^1 = +1/2$ が得られ、また t_b で $S_x^2 = +1/2$ が得られた場合、 t_1 でのスピンの状態はどのようになっているのだろうか。 t_a での $S_z^1 = +1/2$ から t_1 での $S_z^2 = -1/2$ が予想され、 t_b での $S_x^2 = +1/2$ から t_1 での $S_x^2 = +1/2$

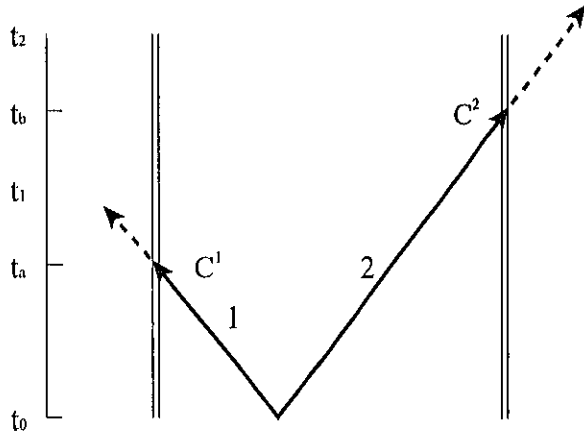


図 1

が予想される。この二つの予想は、しかし、不確定性関係によって両立不可能である。それでは、本当はいずれが正しい予想なのか。

量子力学の正統派解釈によれば、系の物理量の値について語ることはそれが観測されるかぎりでのみ意味を持つ。だから、物理量の値を語りうるためにはつねに観測装置による外側からの介入が必要である。それに対して、整合的歴史アプローチはつねに閉じた系を問題にする。閉じた系について語るのであるから、一方で「観測されなかった」値について語る事が可能になる、と同時に他方で、「観測」はもはや量子力学解釈の基本概念ではなくなる。それゆえ、このアプローチにしたがえば、上の例での時刻 t_1 における「観測されない」スピン状態を語ることもできるのである。次のような時間系列

$$t_d < t_1 < t_2 < \cdots < t_n < t_f \quad (1)$$

$$D < E_1 < E_2 < \cdots < E_n < F \quad (2)$$

が並ぶものとしよう。D は始めの出来事であり、F は終わりの出来事である。この出来事の系列が「歴史」である。これらの出来事にはそれぞれ射影子（射影作用素）が対応するから、射影子に出来事と同じ文字を使えば、歴史は次のように表記できる。

$$DU(t_d, t_1)E_1U(t_1, t_2)E_2U(t_2, t_3)\cdots U(t_{n-1}, t_n)E_nU(t_n, t_f)F \quad (3)$$

' $U(t_i, t_j)$ ' はシュレーディンガー方程式にしたがう系の時間発展である。

これを前の段落で提起した問題に適用すれば、時間系列は

$$t_0 < t_1 < t_f \quad (4)$$

であり、その歴史は次のように表わされる。

$$DU(t_0, t_1)E_1U(t_1, t_f)F \quad (5)$$

ここで、

$$D = |\Psi_0\rangle\langle\Psi_0| \quad (6)$$

$$|\Psi_0\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(\alpha^1\beta^2 - \beta^1\alpha^2) \quad (7)$$

である。ただし、 $\alpha = |S_z = +1/2\rangle$, $\beta = |S_z = -1/2\rangle$ であり、測定装置 C^1, C^2 の時刻 t_0 における波動関数を ψ^1, ψ^2 と置いた。するとわれわれの問題は、D, F が与えられたと

きの E_1 の条件付き確率を求める問題に帰着する。つまり、装置 C_1 が粒子 1 のスピンを z 方向で測定して $+1/2$ を示す出来事を Z^+ で、装置 C_2 が粒子 2 のスピンを x 方向で測定して $+1/2$ を示す出来事を X^+ で表示すれば、次の二つの条件付き確率はどんな値をとるか、ということである。(ここで、 A_1, B_1 はそれぞれ言明「 $S_z^2 = -1/2$ 」と「 $S_x^2 = +1/2$ 」に対応する出来事である)。

$$\Pr(A_1 | Z^+ \wedge X^{2+}) \quad (8)$$

$$\Pr(B_1 | Z^+ \wedge X^{2+}) \quad (9)$$

この条件付き確率を求めるには、

$$\Pr(A_1 | Z^+ \wedge X^{2+}) = \frac{\Pr(Z^+ \wedge X^{2+} \wedge A_1)}{\Pr(Z^+ \wedge X^{2+})} \quad (10)$$

$$\Pr(B_1 | Z^+ \wedge X^{2+}) = \frac{\Pr(Z^+ \wedge X^{2+} \wedge B_1)}{\Pr(Z^+ \wedge X^{2+})} \quad (11)$$

によって、それぞれの分母、分子を計算してやらねばならない。分母は共通であるから、分子だけを比較してみよう。(10) 式の分子は、もし

$$\Pr(Z^+ \wedge X^{2+} \wedge A_1) = \text{Tr}[FU(t_i, t_1)A_1U(t_1, t_0)D(t_0, t_1)A_1U(t_1, t_i)F] \quad (12)$$

と置くことが許される——これを許す条件が「整合性条件」——ならば、実際に計算できる。そして、(11) 式の分子は A_1 の代わりに B_1 が入るという点でのみ異なる。だから、われわれにとっては A_1 と B_1 の違いだけが問題である。だが、 A_1 と B_2 の違いだけが問題なのであれば、EPR の分離された 2 個の粒子は必要でなく、1 個の粒子で間に合うのである。

次の図 2 で示されるような実験を想定しよう。⁽¹⁰⁾ Z と X はそれぞれ S_z 測定と S_x 測定のための装置であり、 x は z を 90 度回転した方向である。粒子が Z に達しそれと相互作用した

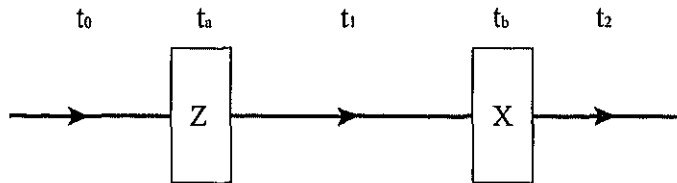


図 2

時刻を t_a 、 X と相互作用した時刻を t_b とする。われわれの知りたいのは、 t_a で Z^+ 、 t_b で X^+ という結果が出たとき、 t_a と t_b の中間の時刻 t_1 における粒子のスピスが $S_z = +1/2$ なのか $S_x = +1/2$ なのか、ということである。そこで、この二つの出来事とそれに対応する射影子を A_1, B_1 で表わすならば (いまの場合、粒子が 1 個なので A_1 は「 $S_z = +1/2$ 」に対応することになるが、問題の性質は変わらない)、粒子の歴史は次の二つになる。

$$D < A_1 < F \quad (13)$$

$$D < B_1 < F \quad (14)$$

また、これらの歴史について

$$\Pr(Z^+ \wedge X^+) \quad (15)$$

$$\Pr(Z^+ \wedge X^+ \wedge A_1) \quad (16)$$

$$\Pr(Z^+ \wedge X^+ \wedge B_1) \quad (17)$$

などの確率を求める問題も、図 1 の場合とまったく同じである。違いは僅かに Z, X が 1 個の同じ粒子に対してスピン測定を行なうという点だけである。

そこで、実際に計算してみる（付論）と、われわれの予想どおり、

$$\Pr(A_1 \mid Z^+ \wedge X^+) = 1 \quad (18)$$

$$\Pr(B_1 \mid Z^+ \wedge X^+) = 1 \quad (19)$$

である。そして、この二式から通常の推論によって

$$\Pr(A_1 \wedge B_1 \mid Z^+ \wedge X^+) = 1 \quad (20)$$

が出てくる。これが EPR の推論である。

しかし、量子力学にしたがえばこの推論は許されない。そのような推論が可能であるためには、“ $A_1 \wedge B_1$ ” に対応する射影子が存在しなければならないが、量子力学はそのような射影子の存在を認めないからである。推論がたんに禁止されるのではなく、推論されるべき当の事態が存在しないのである。交換しない作用素に対応する二つの物理量の値の—— EPR の謂う——同時的実在は、言うなれば、世界の中に存在しないのである。こうして、「[アインシュタインは] 単一の実験ではなく、たがいに背反的な二つの実験を扱っているのだ」とのボーアの言い分は、整合的歴史アプローチにおいて「単一の歴史ではなく、たがいに背反的な二つの歴史を扱っているのだ」という主張に置き換えられたのである。したがって、ボーアの相補性をこのアプローチに即して定義することは容易である。

一般に、歴史を構成するそれぞれの出来事 E_i は、「1 の分解」

$$1 = \sum_{i=1}^n E_i \quad (21)$$

によってつくられる集合 $\{E_i\}$ の一つのメンバーである。「1 の分解」の仕方は一意的ではなく、しかも、相異なる分解がたがいに排他的であるような場合も存在する。いま、それぞれの歴史が属する「歴史の家族」を

$$D < \{E_1\} < \{E_2\} < \cdots < \{E_n\} < F \quad (22)$$

によって定義するならば、相補性は次のように定義される。二つの歴史の家族 F, F' は、それらのおのおのは整合的であるが、その二つの家族をともに含むような整合的家族が存在しないならば、相補的である。⁽¹⁰⁾ これが、ボーアの相補性の論理的に正確な定式化である所以は、両立不可能な物理的性質の同時的存在という矛盾を、「実験設定の全体」の背反性によってではなく、歴史の家族という枠組みの背反性によって、解消した点にある。「実験」から「枠組み」への視点の移行は「観測」から「推論」への重心移動である。こうして、「系の将来の振舞いに関していかなるタイプの予言が可能なのかを定める条件」とは、実は、量子力学における「推論」——予言も一種の推論である——が単一の枠組みの内部でのみ可能だ、とする条件に他ならないことが分かる。(20) への推論は、偽なのではなく、端的に無意味なのである。

それでは、このアプローチにおいて EPR の 2 個の粒子は独立しているのか否か。このアプローチから見れば、EPR のパラドキシカルな側面はひとえに相補性の無視に由来するのであるから、EPR 相関には奇妙な点は何もない。一枚の色紙が二枚に裂かれ、片方はロンドンに、もう片方はパリに送られたとしよう。一方が知られれば、他方の片割れを

同定できる。EPR の事例も同様であって、たんに一方が知られば他方を同定できるということにすぎない。⁽²⁰⁾ 整合的歴史アプローチにおいては、出来事の系列 E_1, E_2, \dots, E_n は粒子 2 と観測装置 C^2 のみに言及しているので、一般に次が成り立つ。

$$\begin{aligned} \text{Tr}[E_n U(t_n, t_{n-1}) \cdots E_1 U(t_1, t_0) D U(t_1, t_0) E_1 \cdots U(t_{n-1}, t_n) E_n] = \\ \text{Tr}[E_n U^2(t_n, t_{n-1}) \cdots E_1 U^2(t_1, t_0) D^2 U^2(t_0, t_1) E_1 \cdots U^2(t_{n-1}, t_n) E_n] \end{aligned} \quad (23)$$

ただし、 U^2 は「粒子 2 + 観測装置 C^2 」のみに関するユニタリーな時間発展であり、また D^2 は、観測装置 C^2 の波動関数を ϕ_x^2 と置けば、

$$D^2 = |\phi_x^2\rangle\langle\phi_x^2| \otimes 1 \quad (24)$$

によって定義される密度行列である。(23) 式の右辺は粒子 1 と観測装置 C^1 から完全に独立である。⁽²¹⁾ すなわち、このアプローチにおいてはスプーキな遠隔作用や遠隔感応を想定する余地はまったくないのである。EPR の 2 個の粒子がはたして独立の存在か否かについてボーアが何も言及していないのは、EPR の 2 個が独立であることを当然の前提として、かれの論点をもっぱら相補性に置いたからに他ならない。

3 哲学的検討

整合的歴史アプローチの主たる動機は量子力学の正統派解釈に対する不満にある。正統派解釈によれば、閉じた量子系の状態は波動関数によって完全に記述される。しかし、系の物理量の値は外部からの観測がなされないかぎり確定せず、観測がなされ観測装置と相互作用している間は、対象系は閉じていない。ここに含まれている不満の種は、第一に「観測されなかった物理量の値」について語ることの禁止であり、第二に「観測」が物理理論の外側からその基本概念として要請されていることであり、第三に、観測が「物理的性質を産み出す」と言わしめる主観主義の侵入である。だから、整合的歴史アプローチのメリットは「観測」や外部観測者に依存しないような量子力学の「客観主義的」「實在論的」解釈だという点にある。われわれの問題は、このアプローチで標榜される「客観主義」や「實在論」の哲学的中味は何か、ということである。というのも、量子力学の解釈が哲学的色彩を帯びてくる理由は、私の見るところ、量子力学が實在論に対するもっとも刺激的な挑戦だ、という点に存するからである。

ボーアの相補性は、正統派解釈とは別物であったにもかかわらず、かれ自身がそれを「主観と客観を区別することに基づく人間の概念形成における一般的困難」に結びつけて説明したがために、その違いが曖昧化される結果をまねいた。相補性の眼目の一つは「現象が古典物理学で説明のつく範囲からいかに遠く隔たっていても、すべての証拠の説明は古典論の用語で表現されねばならない」という要請である。⁽²²⁾ この要請は、これだけを独立に見れば、主観主義が介入してくるおそれはない。しかし、相補性のいま一つの眼目、すなわち「原子の対象の振舞いとそれが現象として発生する条件を定めるために使われる観測装置との相互作用、これを明確に分離することは不可能である」⁽²³⁾ が加わると、一意的な主観－客観分離の不可能性の論拠になりうる。相補性の曖昧化の原因は、量子仮説を主観－客観問題へと一般化し、哲学的脚色を加えた点にある。ボーアが作用量子の存在から主観－客観問題へと議論を展開したのは、主観－客観という構図を抜け切れなかった時代的制約による。フレーゲやウィトゲンシュタインは知られていたに違いないが、かれら

の哲学（認識論から論理学への転換）が正当に理解されるようになったのは、ボーアの死後においてである。⁽²³⁾ ボーアやハイゼンベルクは、ウィーン学団とともに、ウィトゲンシュタインの『論理哲学論考』（1922）をたんに論理実証主義のマニフェストだと誤解していたのである。

整合的歴史アプローチは、主観－客観問題に属するかのよう論じられてきた観測の問題を、量子力学の「論理の問題」へと改竄することによって、客観主義と實在論を回復しようとする試みである。観測問題が一時点での出来事の実現を論ずるのに対し、整合的歴史アプローチは一時点での出来事の確率を所与の出来事（例えば、始めの出来事と終わりの出来事）の確率から計算し、その出来事について推論するのである。その前提としてそれは、波束収縮がいかにして実現するかという問題を、ある系についての出来事の歴史の整合性条件の問題に置き換える。整合性条件は、実質的には干渉が存在しないことの要請であるから、非干渉（incoherence）条件ないし干渉消失（decoherence）条件とも呼ばれる。確率の計算は、整合性条件が満たされるときにかぎり有意義である。ところが、ともに整合性条件を満たす二つの歴史は、他のすべての出来事を共有しながら、ある一時点でたがいに背反的な出来事を持ちうる。相補性を原理として掲げる論拠がこの点にあることは、前節の末尾で見たとおりである。こうして相補性は、主観－客観問題とは完全に切り離されたかたちで、論理的に定式化されたのである。

整合性条件は論理的な条件であるから、それが満たされても、いかにして干渉消失が実現するかという問題は残る。その意味では、観測問題は干渉消失の問題に姿を変えただけである。そして逆に、干渉消失は背反的な二つの家族（あるいは、枠組み）のいずれを選択すべきかを決定しない。それゆえ、量子力学の論理としての相補性は干渉消失だけからでは説明がつかない。だから、整合的歴史アプローチにしたがって相補性を論理的に定式化することは、相補性から観測問題を切り離し、観測問題を干渉消失という物理的問題に置き換えることを意味するのである。実際、相補性から「主観－客観の相異なる場所での分離」という特徴を取り除くならば、相補性の論点として残るのは「対象系と観測装置との分離不可能性」だけである。するとこれは、観測結果のみに實在性を認める実証主義の主張と区別できないような立場に転化する。ボーアの相補性を「実証主義的」と特徴づけることは、その限りにおいて正当化される。だがそのとき、相補性が「論理の問題」だということが没却されているのである。

相補性が観測問題から切り離され、観測問題が干渉消失の問題に他ならないとすれば、EPR やベルの定理によって示唆される遠距離相関の問題は、観測問題から取り除かれ、消去される。正統派解釈においては、ある物理系の同一時刻における状態にはつねに同一の状態ベクトルが対応することが前提される。そして、その前提のもとではじめて波束収縮の問題が生まれたのである。それに対し、整合的歴史アプローチにおいてはそのような前提は存在しない。閉じた系は、出来事——それがミクロ的であろうとマクロ的であろうと——の確率を持つのみである。こうして、整合的歴史アプローチにおいては、EPR やベルの定理から示唆される遠距離相関の問題は、観測問題から取り除かれるのである。それゆえ、干渉消失という物理的問題は残るが、観測問題の半分は「論理の問題」として解決されたのである。相補性解釈は、いかにして干渉消失が生ずるのかという問題に答えるものではなく、量子力学のパラドクシカルな点をその「論理的」側面でのみ解決するので

ある。

それでは、整合的歴史アプローチは量子力学に实在論を回復したのだろうか。グリフィスがこのアプローチを提案したときも、その後も、それが「实在論的」であることを強調した。だが、そのような強調が可能なのは「観測が物理量の値を産み出す」という類いの正統派の主観主義的逸脱を排除するかぎりにおいてである。それゆえ、「实在論」が主観—客観という構図の中で定義される範囲においてである。もし、量子力学の解釈を主観—客観の構図から解放し、相補的記述様式の不可避性という点に量子力学の特徴を見るならば、整合的歴史アプローチは少しも「实在論的」ではない。その理由は相補性という論理にある。相補的な物理量の存在は、たんに实在論を疑わせるだけであるかもしれない。だが、相補性は「同一の対象についてたがいに排他的な二つの物語が可能であり、そのいずれもが正しい」と主張しているのである。もしも「同一の対象についてたがいに排他的な二つの性質を帰属させることが可能であり、そのいずれもが正しい」と主張されるならば、これを「实在論的」な主張と見なすことは不可能であろう。

たがいに排他的な二つの「歴史」であろうが「物語」であろうが、同一の対象が同一時刻に背反的な性質を持ちうることを含意するかぎり、矛盾律を侵している。この矛盾律の侵犯を回避するためには、实在論から退却し、言明は対象がそれ自体として持つ性質を述べているわけではないことを承認せざるをえまい。相補性は、背反的な整合的歴史に属する二つの出来事を述べる二つの言明を連言詞で結ぶことを禁ずる。そのような連言は、「つねに偽」なのではなく、無意味なのである。偽なる言明の否定は真でなければならないが、無意味な言明の否定は無意味である。すると、一つの歴史の枠組みの中での当の言明も、文字どおりの意味で真ではありえない。なぜなら、その言明と両立不可能な言明も同等の資格で真であろうからである。そのような言明はたかだか「信頼できる(trustworthy)」言明であるにとどまる。⁽²⁴⁾ 整合的歴史アプローチが量子力学の实在論的解釈でないのは、この意味においてである。ボーアはたびたび特殊相対論とのアナロジーに言及したが、このアナロジーは「相異なる二つの慣性系の相異なる同時性はともに正しい」という範囲でのみ成立する。だから相補性は、アインシュタインが自分の理論がそう呼ばれることを好まなかった——相対主義の含みを持つ——意味において「相対性理論」なのである。⁽²⁵⁾ もちろん、特殊相対論のどの慣性系もたがいに整合的であるから、その点で相補性は特殊相対論とはまったくの反対物である。

次に引用するオムネスの文章は、ボーアの相補性と整合的歴史アプローチの関係をよく示している。

この理論はコペンハーゲン解釈とは強く異なる仮定から始められたのだが、最終的には、僅かな修正点を除いて、ボーアの観点の再定式化に導かれた。

・・・この新しいアプローチの主たる貢献は、事実、古いアプローチの整合性を（初めて？）証明したことである。⁽²⁶⁾

〔整合的〕歴史の方法はボーアの論述の、はてしない推察や言い抜けではなく、証明を許す。それは解釈を、誰にでも点検できる通常の論証的理論に変える。それはまた、愚劣な粉飾に抗してボーアが確立しなければならなかった疑わしい路線決定、例えば

量子的世界と古典論の世界との徹底的な分離が、必要でないこと、そして、それらを除去することによってわれわれの見通しが大きく開かれること、を示している。⁽²⁷⁾

整合的歴史アプローチは、古典物理学が量子力学の解釈上の前提であるとのコペンハーゲン解釈に対抗して、量子力学こそが古典物理学の世界の土台であるとする点で、観測の理論の観点を共有する。だが、観測の理論の達成しうる成果は、ア・プリオリに要請されたボーアの「古典的概念の不可欠性」という「公理」を物理学の内部から証明し、公理を「定理」に変えることである。この点に関しては、整合的歴史アプローチも同じである。それがボーアの相補性の再定式化であるのは、量子力学を古典物理学の土台に据えようが、あるいは、量子力学と古典物理学に共通の論理的枠組みをつくろうが、量子力学の持つ相補性という特性が消えることは決してないからである。整合的歴史アプローチは、それが相補性の論理的定式化であるがゆえに、量子力学がいかなる意味で实在論と相容れないのかを明確にしえたのである。⁽²⁸⁾

それでは、整合的歴史アプローチにしたがって相補性を論理的に定式化した後に、ボーアの相補性はどのように見えるだろうか。ボーアが「相補性」という言葉をはじめて口にしたとき、彼は古典物理学の世界像から大きく逸脱する量子力学に、特殊相対論に施されるのと同等の合理的根拠を与えることを意図していた。「自然は飛躍せず」という科学の常識、これをくつがえす新奇な現象が疑いえない事実となったとき、哲学が採りうる基本的な路線変更は、主観－客観の構図を内部修正するか、論理をつくり変えるかである。ボーアは彼の哲学的所見を述べる時、当時の殆どの物理学者がそうしたように、それを主観－客観問題の枠組みのなかで定式化した。こうして、相補性は「主観－客観の相異なる箇所での分離」に基づく背反的関係と見なされた。

しかし「主観－客観の相異なる箇所での分離」という相補性の論点は、位置－運動量の不確定性関係の例からスピン測定における不確定性関係の例に眼を移すと、背反性という論理的関係を導くためには必要でも十分でもないことが分かる。必要でないというのは、スピン測定の場合に相異なる箇所での切断が存在しないからである。十分でないというのは、相異なる箇所での切断が論理的背反性をもたらすとは限らないからである。そのうえ、主観－客観問題という枠組み自体でさえ、フォン・ノイマンが量子力学に「物心並行論の原理」を外挿したことから出てくる法外な帰結によって、無用な哲学的粉飾であることが判明した。だから、ボーアが主観－客観問題の枠組みのなかで相補性を定式化したことは事実であるが(あるいは、そのゆえにこそ)、われわれはむしろこの種の哲学的粉飾を削ぎ落とし、相補性の論理的核心を剥き出しにする必要があったのである。

ボーアと親しく付き合ったハイゼンベルクやフォン・ワイツェッカーでさえも相補性を誤解していたという事実は、ボーアが自分の語るべきことを的確に語りえなかったということを示唆している。私の見るところ、ボーアは実際には相補性という本来論理的な関係であるものに、主観－客観という伝統的哲学の構図に即した認識論的根拠を与えようとした。これが相補性に対する誤解の発生源であるように思える。しかしボーア自身も、アインシュタインによる量子力学批判の具体的告発に応えるごとに、相補性から「主観－客観の相異なる箇所での分離」という認識論的色彩を薄めていったように見える。相補性において最後まで効き目を持ったのは「単一の実験ではなく、排他的な二つの実験だ」という

論点である。相補性は、背反性という論理的関係として生き残ったのである。整合的歴史アプローチのメリットは、ボーアの相補性から主観－客観の枠組みを取り除き、相補性を純粋に論理的な関係として定式化した点にある。しかし、相補性の論理的定式化はボーアが相補性に与えていた主観－客観の枠組みに基づく認識論的説明を取り除く。それゆえ、ボーアが相補性に与えた認識論的説明は無用のものとなる。相補性はもはや、量子力学がなにもゆえに背反的な記述様式を要求するのか、という問いに哲学的説明を与えるものではなくなる。相補性はもはや量子力学に対する哲学的説明ではなくなったのである。

付記 本稿は2001年7月北海道大学大学院科学基礎論研究室の集中講義に招かれ、その講義の必要に迫られて纏めたものの一部である。講義の機会を与えて頂いただけでなく、講義に参加し有益な批判を下さった石垣壽郎教授ならびに同研究室の院生諸兄に、心からお礼申し上げる。

付 論

図2の場合について A_1, B_2 の具体的な姿を求める。グリッフィスの論文に載っている計算をそのまま使うことにしよう。⁽²⁰⁾ 少々長い計算が必要になるので、次の略号を使う。

$$\begin{aligned}\alpha &= |S_z = +1/2\rangle, \beta = |S_z = -1/2\rangle, \gamma = |S_x = +1/2\rangle, \\ \delta &= |S_x = -1/2\rangle\end{aligned}\quad (A1)$$

そして、それらは次の関係にある。

$$\begin{aligned}\alpha &= (\gamma + \delta)/\sqrt{2}, \beta = (\gamma - \delta)/\sqrt{2} \\ \gamma &= (\alpha + \beta)/\sqrt{2}, \delta = (\alpha - \beta)/\sqrt{2}\end{aligned}\quad (A2)$$

すると、全系の時間発展は次のように与えられる。

$$t = t_0: \Psi_0 = \gamma Z^+ X \quad (A3)$$

$$t = t_1: \Psi_1 = (\alpha Z^+ X + \beta Z^- X) / \sqrt{2} \quad (A4)$$

$$t = t_2: \Psi_2 = (\gamma Z^+ X^+ + \delta Z^+ X^- + \gamma Z^- X^+ - \delta Z^- X^-) / 2 \quad (A5)$$

(A5) 式は長すぎるので次の略号を使う。

$$|\Psi_2\rangle = 1/2 (|1\rangle + |2\rangle + |3\rangle - |4\rangle) \quad (A6)$$

A_1 を求めるには、(A5) と (A6) を対照しながら、時刻 t_1 での状態に目を付けて、 A_1 の行列要素を $|1\rangle, |2\rangle, |3\rangle, |4\rangle$ で表現してやればよい。 A_1 の代わりに、ハイゼンベルク表示である $U(t_2, t_1) A_1 U(t_1, t_2)$ を求めた方が便利である。

$$\begin{aligned}U(t_2, t_1) A_1 U(t_1, t_2) |1\rangle &= U(t_2, t_1) [A_1 \gamma Z^+ X] \\ &= U(t_2, t_1) [A_1 \{(\alpha + \beta)/\sqrt{2}\} Z^+ X] \\ &= U(t_2, t_1) [\alpha Z^+ X / \sqrt{2}] \\ &= 1/2 (\gamma Z^+ X^+ + \delta Z^+ X^-) \\ &= 1/2 (|1\rangle + |2\rangle)\end{aligned}$$

同様に、

$$\begin{aligned}U(t_2, t_1) A_1 U(t_1, t_2) |2\rangle &= 1/2 (|2\rangle + |1\rangle) \\ U(t_2, t_1) A_1 U(t_1, t_2) |3\rangle &= 1/2 (|3\rangle + |4\rangle)\end{aligned}\quad (A7)$$

$$U(t_2, t_1)A_1U(t_1, t_2) | 4 \rangle = 1/2 (| 4 \rangle + | 3 \rangle)$$

したがって、

$$U(t_2, t_1)A_1U(t_1, t_2) = 1/2 \sum_{j=1}^4 (| j \rangle \langle j |) + 1/2 (| 1 \rangle \langle 2 | + | 2 \rangle \langle 1 | + | 3 \rangle \langle 4 | + | 4 \rangle \langle 3 |) \quad (A8)$$

B_1 の行列要素も同様に求められる。

$$\begin{aligned} U(t_2, t_1)B_1U(t_1, t_2) | 1 \rangle &= U(t_2, t_1)[B_1 \gamma Z^+ X] \\ &= \gamma Z^+ X^+ \\ &= | 1 \rangle \end{aligned}$$

同様に、

$$\begin{aligned} U(t_2, t_1)B_1U(t_1, t_2) | 2 \rangle &= 0 \\ U(t_2, t_1)B_1U(t_1, t_2) | 3 \rangle &= | 3 \rangle \\ U(t_2, t_1)B_1U(t_1, t_2) | 4 \rangle &= 0 \end{aligned} \quad (A9)$$

したがって、

$$U(t_2, t_1)B_1U(t_1, t_2) = | 1 \rangle \langle 1 | + | 3 \rangle \langle 3 |. \quad (A10)$$

また、

$$F = | \gamma Z^+ X^+ \rangle \langle X^+ Z^+ \gamma | = | 1 \rangle \langle 1 | \quad (A11)$$

である。

問題の条件付き確率は、

$$\begin{aligned} \Pr(Z^+ \wedge X^-) &= \text{Tr}[U(t_2, t_0)DU(t_0, t_2)F] \\ &= \langle \Psi_2 | U(t_0, t_2)FU(t_2, t_0) | \Psi_2 \rangle \\ &= \langle \Psi_2 | 1 \rangle \langle 1 | \Psi_2 \rangle \\ &= | \langle 1 | \Psi_2 \rangle |^2 \\ &= 1/2 \{ \langle 1 | (| 1 \rangle + | 2 \rangle + | 3 \rangle - | 4 \rangle) \}^2 \\ &= 1/4 \end{aligned} \quad (A12)$$

$$\begin{aligned} \Pr(Z^+ \wedge X^+ \wedge A_1) &= \text{Tr}[FU(t_2, t_1)A_1(t_1, t_0)DU(t_0, t_1)A_1(t_0, t_2)F] \\ &= \langle \Psi_2 | U(t_0, t_1)A_1U(t_1, t_2)FU(t_2, t_1)A_1U(t_1, t_0) | \Psi_2 \rangle \\ &= 1/4 \end{aligned} \quad (A13)$$

$$\begin{aligned} \Pr(Z^+ \wedge X^+ \wedge B_1) &= \text{Tr}[FU(t_2, t_1)B_1(t_1, t_0)DU(t_0, t_1)B_1(t_0, t_2)F] \\ &= \langle \Psi_2 | U(t_0, t_1)B_1U(t_1, t_2)FU(t_2, t_1)B_1U(t_1, t_0) | \Psi_2 \rangle \\ &= 1/4 \end{aligned} \quad (A14)$$

によって、

$$\Pr(A_1 | Z^+ \wedge X^+) = 1 \quad (A15)$$

$$\Pr(A_1 | Z^+ \wedge X^-) = 1 \quad (A16)$$

である。

注

(1) Einstein, A., Remarks concerning the essays brought together in this cooperative volume, in A. Schilpp ed., *Albert Einstein: Philosopher-Scientist*, Evanston, 1949, p.674

- (2) Griffiths, R.B., Consistent Histories and the Interpretation of Quantum Mechanics, *Jour. Stat. Phys.*, Vol.36, pp.219-272
- (3) Gell-Mann, M. and J. B. Hartle, Quantum Mechanics in the Light of Quantum Cosmology, in W. Zurek ed., *Complexity, Entropy, and the Physics of Information*, SFI Studies in the Sciences of Complexity, Vol. VIII, Addison-Wesley, 1990, pp.425-457
- (4) Omnès, R., *The Interpretation of Quantum Mechanics*, Princeton University Press, 1994
- (5) Omnès, R., *Understanding of Quantum Mechanics*, Princeton University Press, 1999.
- (6) Omnès, R., *Quantum Philosophy*, Princeton University Press, 1999, transl. from French edition of *Philosophie de la science contemporaine*, Gallimard, 1994.
- (7) 牧二郎、量子力学解釈論の現状と展望、『科学基礎論研究』第77号、149-154頁。
- (8) 加藤尚武は拙論「量子論の哲学的インパクト」(『科学技術のゆくえ』転換期のフィロソフィー第3巻、ミネルヴァ書房)の一節を引用して、「ここから観測という意識の作用が対象を変容させるのだから、哲学的実在論はなりたないというような議論が引き出せるかどうか」(同書、6頁)と疑義を表明しているが、「意識の作用」は無関係な論点である。
- (9) von Weizsäcker, C.E., Komplementarität und Logik, in *Zum Weltbild der Physik*, 11. Auflage, Hirzel, 1970, pp.281-331
- (10) Op.cit., p.330
- (11) ハイゼンベルク『量子論の物理的基礎』玉木・遠藤・小出訳、みすず書房、1954、56-58頁。
- (12) Einstein, A., Podolsky, B., Rosen, N., Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete? *Phys.Rev.*, Vol.47, 1935, pp.177-180
- (13) Bohr, N., Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality be Considered Complete? *Phys.Rev.*, Vol.48, 1935, pp.696-702. 引用は p.699.
- (14) 山本義隆編訳、ニールス・ボーア論文集1『因果性と相補性』岩波文庫、1999、391-392頁。
- (15) Bohr, N., Discussion with Einstein on the Epistemological Problems in Atomic Physics, in A. Schilpp ed., *Albert Einstein: Philosopher-Scientist*, Evanston, 1949, pp.
- (16) 藤田晋吾、実在論の二つの顔—ボーアとジョン・ベラー、『量子力学と物理的実在』科学哲学27、1994、41-54頁。
- (17) Griffiths, R.B., Correlations in separated quantum systems; A consistent history analysis of the EPR problem, *Amer. Jour. Phys.*, Vol.55, 1987, pp.11-17
- (18) Griffiths, R.B., Consistent Histories and the Interpretation of Quantum Mechanics(注2), p.235
- (19) Omnès, R., *The Interpretation of Quantum Mechanics*(注4), p.162. *Understanding of Quantum Mechanics*(注5), p.170
- (20) Griffiths, R.B., Correlations in separated quantum systems(注17), p.12
- (21) 注で次のように述べている。「量子論の正統派は波動関数とその崩壊に＜情報的な＞ではなく物理的内容を帰属させることによって、まず＜非局所性＞を推定するという人工的な概念的困難を作りあげる。そこで次にその困難は、それがいかなる観測可能な帰結も持たないことを示すために、いくぶん注意深く吟味されねばならなくなる。それに対し、整合的歴史アプローチにおいては、非局所性など存在しないのであり、だからこそ非局所性はいかなる(観測可能な、あるいは観測不可能な)帰結も持たないのである」。Op. cit., p.17.
- (22) Bohr, N., Discussion with Einstein on Epistemological Problems in Atomic Physics(注15), p.209, p.210
- (23) ハイゼンベルク『部分と全体』(山崎和夫訳、みすず書房)は、しばしばウィットゲンシュタインやウィーン学団に言及している。
- (24) この用語はデスパーニアに由来する。

- (25) パトナムがかつて「相対主義」ないし「観点依存主義」と称する解釈を提唱したとき、かれはその立場を（アインシュタインが自らの理論がそう呼ばれることを好まなかった意味において）「相対性理論」なのだ、と述べた。
Putnam, H., Quantum Mechanics and the Observer, in *Realism and Reason: Philosophical Papers Vol.3*, Cambridge University Press, 1983, pp.248-270
- (26) Omnès, R., From Hilbert Space to Common Sense: A Synthesis of Recent Progress in the Interpretation of Quantum Mechanics, *Annals of Physics*, Vol.201, pp.354-447. 引用は p.445.
- (27) Omnès, R., Quantum Philosophy(注 6), p.233
- (28) グリフィスは、整合的歴史アプローチが「実在論的」とあるとする見方を擁護して、次のように主張する。「古典物理学につねに見られた単一性 (unicity)、すなわち同一の系についてのどの二つの記述も単一の記述に結合できるという可能性、これが量子力学には欠如している。この単一性が実在論にとって不可欠のだと主張したいのであれば、整合-歴史量子論は明らかに＜実在論的＞とは言えない。それに取って代わる立場は——私はもちろんそれを好むが——量子論的実在とはどのようなものであるか、そしてそれは量子論の到来以前において考えられていた実在となぜ異なるのか、についてのわれわれの理解の一部として、量子論的両立不可能性を含むのである」(Griffiths, R.B., Choice of consistent family and quantum incompatibility, *Phys.Rev. A*, Vol.57, 1998, p.1614)。このような実在論を唱えることが困難である理由は、その立場では実在とそれについてのわれわれの理解との（あるいは、実在と理論との）区別が不可能になるからである。
- (29) Griffiths, R.B., Consistent Histories and the Interpretation of Quantum Mechanics(注 2), Appendix C

A Logical Formulation of Complementarity —On the Consistent History Approach—

Shingo FUJITA

The Consistent History Approach of quantum mechanics was first proposed by R. B. Griffiths in 1984. In the nineties it was adopted by R. Omnès as an universal principle of the interpretation of quantum mechanics. This approach I find to be a logical formulation of Bohr's idea of complementarity, although its original intention was to restore an objectivist and realist interpretation of quantum mechanics in opposition to the Copenhagen Interpretation.

To any challenge to quantum mechanics Bohr answered by appealing to his philosophy of complementarity, which seems to have made the very concept of complementarity somewhat obscure. The greatest obscurity is in how the alleged impossibility of a unique separation between subject and object is relevant to quantum mechanics. If one succeeds in logically formulating his complementarity, all his epistemological explanations will turn out to be superfluous. A merit of the Consistent History Approach consists in having robbed Bohr of his epistemological pseudo-explanations.

In this paper, taking the EPR argument as an example, I show how the Consistent History approach has succeeded in logically formulating Bohr's philosophy of complementarity. While Bohr dissolved the apparent contradiction of the simultaneous existence of two incompatible physical qualities by appealing to the two mutually exclusive experimental arrangements as a whole, the Consistent History approach dissolves it by appealing to the mutually incompatible logical frameworks or "families of histories". This corresponds to a shift of emphasis from *experimental arrangements to logical inferences* in the interpretation of quantum mechanics.

In the Consistent History approach, complementarity is defined in the following way: *Two families of histories (or two logical frameworks) will be called complementary when they are both consistent though mutually incompatible.*