

2003 年 1 月 27 日

科学基礎論研究レポート

ニールスボーアのいう「相補性の原理」とはいかなるものか

竺原みき

1. ニールスボーアの「相補性」が言及する領域

ニールスボーアは、『量子仮説と原子理論の最近の発展』の中で、相補性についてまず次のように述べる。「ある粒子の位置座標の測定には力学変数〔運動量〕の有限の変化が伴うだけではなく、その位置を確定するならば、その粒子の力学的振る舞いの因果的記述が完全に断ち切られることになり、他方では、その運動量を決定するならば、必然的にその空間的伝播についての知識に欠落が生じる、ということが導かれる。まさにこの事情が原子的現象の記述が相補的な性格のものであるということをこの上もなく鮮明に暴きだしているのである。」^[1]

物質レベルでの厳密で、微小な世界においては、運動量や位置の観測に用いる測定装置が、観測されるもの運動量や位置そのものを変えてしまう、位置を測定する精度をあげれば運動量に変化が生じ、運動量を測定する精度をあげれば位置に変化が生じる、ということ、すなわち両方を同時に測定するということができない、という原理を述べている。量子力学が問題とする、ミクロな対象の状態についての我々の知識は、マクロな実験装置によって観測され時空の座標記述を行うことにおいて、一見矛盾のような状態に陥ってしまうのである。

まずは、ニールスボーアの述べる相補性という用語が、このような検証可能である科学理論の用語であることを踏まえておきたい。また、科学的な用語であるだけでなく「生命ある有機体の完全な状態」^[2]や「意識ある個人の個性や人間文化の特徴」^[2]を述べる用語として用いられている。

また論理的と心理学の問題や社会学の問題を議論する用語としても言及されている。『ラザフォード記念講演』ではこう述べる。「相補性という観念は、私たちの問いかけの範囲を制限するというような、たちいった分析のなんらかの断念を意味するものではありません。それはただ単に、曖昧さのないコミュニケーションのためにはその証拠が入手された状況にかんする顧慮をどうしても必要とするようなすべての経験分野において、主観的判断には左右されることのない記述の客観的性格を強調するものなのです。このような状況は、論理的な側面においては、言語そのものの発生このかた多くの言葉が相補的な仕方で使用されてきた心理学の問題や社会学の問題にかんする議論からは、よく知られていることなのです」^[3]

では、ニールスボーア自身は、この相補性という言葉を具体的にはどのような文脈で使っているのでしょうか。以下に、岩波文庫のニールスボーア論文集 1・2 に収録されている

ボーアの論文から「相補性」に関する記述を取り上げ、その言及する領域や意味するところは何であるかについて考察を行った。

2. 我々は「相補性」をどう理解すべきか

まず『量子仮説と原子理論の最近の発展』において、直接に相補性のことを述べているのではないが次のような記述がある。相対性理論や量子力学という新しい仮説を我々はど
う理解すべきか、という文脈でボーアは次のように述べる。「実際、ここで私たちは、感覚
から借用してきた私たちの直感の形式を自然の法則についての漸次深まりゆく知識に適合
させていくという、まさしくアインシュタインによってとられた路線にいることを見出す。
なによりもこの途上でゆきあたる障害は、いうならば、言語のすべての単語が私たちの通
常の直感の形式に結びついているという事実にある。量子論では私たちは、量子仮説に固
有の非合理性という性格が避けられないということを問題にするならば、直ちにこの困難
に直面する。しかし私は、この事情は、本来的には、主観と客観を区別することにもとづ
く人間の概念形成における一般的困難に、深部で通底するものであり、相補性という考え
方が、この事情を特徴づけるのに適しているのではないかと、期待している」^[4]

また、『量子物理学と哲学』においても同様に「私たちの日常概念には属さない、それゆ
え従来の表象によってはその直感的内容を表すことができない「相補性」のような人為的
な言葉は、ここで直面している、すくなくとも物理学においてはまったく目新しい性格の、
認識論上の状況を簡単に思い起こさせるもの」^[5]と述べる。

このことから、我々は、こうした仮説や概念を「感覚から借用してきた私たちの直感に
よる形式」で理解しようとするのではなく、むしろ我々の直感の形式をこうした真理へ近
づきつつある知識に適合させよ、というボーアのアドバイスを受け取ることができるだろ
う。感覚による直感を超えた理解のためには、まず、我々はすくなくとも「そのような原
理や理論は、イメージできない、あるいは常識的におかしい」という言い方で退けてはな
らず、むしろ我々自身の常識を変え、我々自身の感覚の限界を知らなければならないだろ
う。

3. 相補性の理解はどうして困難か

ボーアは、相補性を含めた新しい仮説や理論の理解が困難である原因は「言語のすべて
の単語が私たちの通常の直感の形式に結びついているという事実」にあり、これは「主観
と客観を区別することにもとづく人間の概念形成における一般的困難に、深部で通底する
もの」である^[6]と述べる。主観と客観を区別するという我々の認識そのものが、こうした
困難を引き起こしているのである。

主観と客観の区別が人間の概念形成能力に限界を与えていることについて、『量子仮説と
原子理論の最近の発展』においては認識論上の問題として次のように説明される。

「私たちの心の働きを記述するためには、私たちは、一方では、客観的に与えられた内

容が、それを観測している主観に対置されて置かれることを必要とするが、他方では、このような言い回しからすでに明らかなように、後者の主観もまた私たちの心的内容に属するのであるから、主観と客観のあいだの厳格な区別を維持することはできないのである。」^[6]

主観と客観の区別が、その時点ですでに認識の対象とされているものに何らかの影響を与えざるを得ない、したがって認識する主体が客体になってしまっているという、一見矛盾に満ちた心の働きを説明するものとして相補性を使用されている。さらにこう述べる。

「実際、厳密に言うならば、どの概念も、その自覚的な分析とその直接的な使用は排他的な関係に置かれているのである。」^[6]

概念を主観と客観という形で区別し、自覚的に分析することと、それを使用することは、相反するが、相互にそれなしでは成り立ち得ないという、奇妙な関係にあることになる。

また、これに関して、概念や語の意味の相対性について以下のように述べる。「すべての概念、ないしすべての語の意味が相対的であること、すなわち観点の選択に左右されるということが結果するが、それだけではなく、一般に私たちは、一個同一の対象を説明するために、単なる一通りの記述には収まらない多様な観点を必要とするという事実を受け入れる用意がなければならない。」^[6]

事実はひとつであっても、その事実の持つ意味は多様であり、それを意味づけるのはあくまで認識の前提となっている概念や言葉であり、本来は事実の意味そのものは多様な選択の広がりをもつものである。そして、どういう観点で述べようとするかによって、その事実のもつ意味は決まってくるのである。かような意味にもとれる。

そして、自然科学においては周りの影響に左右されない閉じた系というものはありえない、という主張も見られる。「本来の自然科学にとっては、論理的な原理の厳密に自己完結した適応領域なるものは論外である。」^[6]これは、非局所性や不確定性原理にもつながる。

4. 決定論を放棄する「相補性」

量子論理においては、古典論的世界の常識的な論理法則の前提となる分割、場合分けが自明なこととして成り立たない。ボーアは『量子物理学と哲学』で次のように述べる。「量子物理学に固有の新しい特徴は、たんに現象の分割可能性がかぎられていることにあり、それゆえ現象を曖昧さなく記述するためには実験設定のすべての意味ある部分を特定しなければならないということにあります。量子物理学ではまったく同一の実験設定でも一般にはいくつもの異なる個々の効果が観測されるので、統計に依存することは原理的に避けられないことです。のみならず、異なる実験条件のもとで得られ単一の像で理解することの不可能な実験的証拠は、見かけ上は矛盾しているにもかかわらず併用することによって原子的对象にかんする確定的なすべての情報を尽くすことになるという意味で、相補的と見なされなければなりません。」^[6]

一方、古典論的世界においては、現象の原子論が成り立ち、すなわち、aはbによって分割可能性であり、またbもaによって分割可能であるというような事象において、事象の

複合的な和がこの世界である、ということが成立する世界である。これは、条件を限りなく細かく厳密にしていこうことによって、最終的には世界を完全に記述することができる、ということにつながる。しかし量子論理においては、古典論的世界の前提としている出来事の分割可能性は、自明なものではないとする。ミクロなことを扱う量子力学においては、認識を得るための条件が、逆にその認識の対象のあり方を変えてしまう可能性がある。

こうした可能性は、古典物理学における決定論という立場を放棄することにつながる。このことについて『量子物理学と哲学』で次のように述べる。「相補性という考え方は、自然に対して実験という形で問いを投げかける私たちの努力を制約するどころか、測定装置と測定対象の相互作用がその現象の不可欠な部分を構成している場合にはいつでも、そのような問いによって私たちが得ることのできる解答を単純に特徴づけるものなのである。」

「しかしそれでも、古典物理学の記述では何の制約もなく自由に統合されていた基本諸概念〔時間・空間座標とエネルギー・運動量〕が〔原子的現象で〕曖昧さなく使用されるためには、相補的關係に支配されなければならないという事態に、〔量子力学では〕決定論の理想が回復不可能に放棄されているという事実は印象的に表現されているのである。」^[9]

5. 因果性を超える相補性

相補性という用語を理解するために、因果性と対比させて述べた次の箇所を見てみたい。「個体を時間と空間に座標づけるどのような試みも、かならず因果的連鎖の断絶をもたらすことになる」「因果的で時間・空間的な記述の仕方が私たちの通常の経験を秩序づけるのに適しているというのは、ただ単に日常的な経験で問題となる作用にくらべて作用量子が小さいという事実にもとづいている。」^[10]

因果性とは、同一の原因は同一の結果をもたらすということを表す。すなわち、異なる結果は異なる原因によって説明されるのであり、異なる結果が異なる原因によって説明されないのであれば、因果律は説明できないことになる。こうした因果性に関わることばとしてニールスボーアが提唱したのが「相補性」ということになる。

『作用量子と原子核』においても、相補性は因果性よりさらに包括的なものとして次のように述べられる。「ハイゼンベルクの不確定性に表現されている量子力学の原理的に統計的な性格は、原子的な出来事の詳細な分析にたいする暫定的な制限なのではなく、むしろ相補性という観点に合理的に対応するものである。相補性の観点は、因果性の理想よりもさらに包括的であり、作用量子の存在に条件づけられた数多くの経験を正しく考慮するためには欠かすことのできないものである。」^[11] また『量子物理学と哲学』においても同様の記述がある。^[12]

6. 全体性と調和

また『因果性と相補性』によれば「考察している対象の振る舞いにかんして異なる設定の実験によって私たちが手に入れる、見かけ上はたがいに相容れない情報は、あきらかに

従来のやり方では相互に関連づけることはできないけれども、(経験全体の包括的な説明にとっては同様に欠かすことにできないものであって、) それらはたがいに相補的であると見なしうる」^[12]と述べられる。

さらにここで相補性は、限られた分野での説明よりはそれには収まらない全体性やその調和を説明する用語としても述べられる。「相対性と相補性の考え方が適用される典型的な状況はおおよそ異なるものではあるけれども、認識論的な観点からは、その両者は広範な類似性を示している。実際、いずれの場合にも、私たちは、物理学的な経験のより限られた分野を説明するには適していた図式的な観念では理解できないような調和を探り出すことにかかわっている。」^[13]

また、次のようにも述べる。「相対論的な議論では、そのような客観性は、現象が観測者の基準系に依存しているということをしかるべく考慮することによって保証されるが、相補的な記述においては、物理学の基本的諸概念のはっきり定められた使用にとって必要とされる事情にしかるべく注意をはらうことにより、いっさいの主観性が回避されているのである。」^[13]ある傾向や意味を見出そうとする意図がある観察からは、真の姿は捉えることができないと言うことであろうか。

むしろ、ありのままを全体としてとらえることで、その全体を生み出す要素の抜き差しならない関係—ニールスボーアが家紋として選んだ陰陽図における陰と陽の融合と拮抗が織り成す、変化する世界のように一を見抜くという困難をあえて求めているのではないか。そうでなければ、真の姿を把握することはできない、ということなのであろうか。

ありのままを全体としてとらえる、ということは、次の記述にも見ることができる。「たとえば、生命ある有機体の完全な状態、あるいは意識ある個人の個性や人間文化の特徴は、全体性という特徴を示し、その説明のためには典型的な相補的記述様式が必要とされるのである。」^[13]ある出来事を構成する要素は、事実としてはひとつであっても、その出来事を人がどう認識するかはさまざまであり、言い換えれば出来事の意味は多様な解釈の余地を残しており、認識されるまでは不確定である。そして、その解釈の可能性の広さと定まりのなさ全体が、出来事のありのままの姿であるのかもしれない。

7. 相補性をあえて直感的に把握する

われわれの感覚にもとづく直感的な把握は、こうした相補性の概念を捉えるには少し抵抗があるようだと、先に述べた。しかし、生命ある有機体、意識ある個人の個性や人間文化の全体性は常に感覚的な直感に支えられて理解されつつ、私自身もそのただなかにある。それらを理解の対象として客観化したとたんに、実際のありのままではなくなることは次のような例で示すことができよう。

たとえば、私は、冬の終わりに桜のつぼみが黒い幹に点々とついているのを見る。そこに芽吹く生命のいとなみを探りたいと思えば、そのつぼみを手にとってはならず、ありのままに静かに眺めるしかない。幹から離れたとたんに、つぼみは桜の花への変化を待たず

に終わってしまう。また、飛ぶ鳥をとらえて、その飛ぶ働きそのものを調べようとしたとたんに、飛ぶ力は翼とともに折り畳まれて消えてしまう。変化し続けるもの、生きるものの全体をとらえるには、変化するものを止めてしまつては意味がない、ということを我々は直感的に気がついている。

8. 心理学の問題や社会学の問題にかんする議論の中の相補性

『ゼーマン効果と原子構造の理論』では「相対性理論は観測の解釈が時間・空間座標系の選択に以下に左右されるのかという問題にかかわっているけれども、量子論において私たちが直面するのは、対象と測定装置の相互作用が避けられないということによつてもたらされるまったく新しい状況である。観測の本性からしてこの相互作用が本質的に制御不可能であるということは、時間・空間概念と動力学的保存法則のそれぞれの曖昧さのない使用がたがいに排他的であるという、これまで知られていなかった特徴を意味しているのであり、そのために、因果性という古典論の理想を相補性というより広い観点で置き換えなければならなくなるのである。」^[14]と述べる。また、『作用量子と原子核』にも同様な記述がある。^[15]

9. 心理的なものの相補性の例

ここで述べられるようなことは、物理量ではないが、心理的なものの数量的な追跡を可能にするという意味で、たとえば証券や債権、為替市場などの相場を例にとつて考えると、当てはまる考え方である。ある銘柄の値動きは、通常、時系列でのチャートで表されるが、その座標を通常のグラフでプロットするか、対数グラフでプロットするかによつて、現在値が過去と未来を含めた全体性の中でどういう意味を持っているかを判断する際に大きな差を及ぼす。また、ある瞬間の値動きをテクニカル分析とよばれるさまざまな方法で表現することができるが、どの分析手法を用いるかによつて株価の現在値自体はただひとつの値であるが、その意味が異なる。ここで「意味」というのは、あくまで金融市場の相場において利益を上げるための予測をする判断材料としての「意味」であり、本来その値自体には意味はない。さらに、この予測についても、予測した時点での判断が、逆に次の株価を決定する要因になるため、観測し、予測した時点で将来に変化を及ぼすのである。決して対象の振る舞いは観測から独立していないどころか、この世界のあらゆるものが相場の動きに影響する。この関係は、物理量の計測と、観測する装置との関係に非常によく似ている。

「本来的には、主観と客観を区別することにもとづく人間の概念形成における一般的困難に、深部で通底するもの」^[16]というボーアの言葉をレポートの最初に紹介したが、ある現象を認識する、ということにおいて主観と客観を区別せずに、しかも正しく把握するためには、その現象における相補性という観念から述べていかなければいけない、ということであろうか。確かに、客観性を主張するあまりに実は主観的になっている恐れのある皮肉

な例は、実際に散見できる。引き続き先に述べた証券や債権、為替市場などの相場の例で言えば、最も論理的な予測を行う職業であるはずのアナリストが、国の政治の動向や企業業績などの一見客観的なはずの情報やデータを判断材料として市場の動きを予測しているにもかかわらず、実際の相場はその予測をかなり外れた動きになってしまうということはよくある。これは、客観的という皮をかぶった主観的判断によって、本来はニュートラルに取れるはずの情報にバイアスがかかった意味づけをしているためかもしれない。むしろ単発的（粒子的）な情報だけではなく、その市場の相場のもつトレンド（波動的）な動きが、相場の全体像を良く示しているように思える。これはまた、後にハイデルベルクにより、粒子と波動の片方だけではなく、両方を使って説明すべきであるという意味で相補性という言葉が使われる。これはたがいに、相補いあうことと同時に限界を与えるという意味で相補的である。上に述べた相場の現象は、こうした粒子性と波動性の関連にも似た印象を受ける。

10.まとめ

以上、ボーアの相補性の原理について、さまざまな論文からどういう文脈で使われている用語かを考察し、その意味を探ってきた。そして、さまざまな意味を見出すことができた。このレポートのまとめとして、次のボーアの言葉について考察しておきたい。

「相補性という観点は、あらゆる非合理的な生氣論とのいつさの妥協を退けるものではありますけれども、それは同時に、いわゆる機械論に孕まれているある種の先入観を暴き出すのにも適しています。」（p 135）

このことばから、私がこのレポートで述べたような曖昧模糊とした非合理的な例えは、おそらくボーアの意味するところの相補性とはかけ離れた理解であると想像できる。また、ボーアは、機械論の生み出す先入観を否定している。このことは、ある出来事の意味を決定的にするものは外から与えられたシナリオではなく、時々刻々生成変化する世界全体と、その部分であるたとえば私自身のあらゆるかかわりこそが、次の世界の出来事を形作る抜き差しならない要素となり、同時に過去をも意味づけている、ということではないか。ボーアの意味する相補性の正しい理解にはまだ程遠いが、これはこれで、今を生きる私にとっては勇気づけられるメッセージである。

【参考文献】

- [1] ニールスボーア『量子仮説と原子理論の最近の発展』山本義隆編訳、岩波文庫『ニールスボーア論文集 1 相補性と因果性』p.37
- [2] 同『量子物理学と哲学』前掲書 p.322
- [3] 同『ラザフォード記念講演』山本義隆編訳、岩波文庫『ニールスボーア論文集 2 量子力学の誕生』p. 333
- [4] 前掲 [1] p.64

- [5] 前掲 [2] p.129
- [6] 同『作用量子と自然の記述』前掲書 [1] p. 70
- [7] 前掲 [6] p. 71
- [8] 前掲 [2] p.318
- [9] 前掲 [6] p.72
- [10] 同『作用量子と原子核』前掲書 [3] p.225
- [11] 前掲 [2] p.321
- [12] 同『因果性と相補性』前掲書 [1] p.124
- [13] 前掲 [2] p.322
- [14] 同『ゼーマン効果と原子構造の理論』前掲書 [3] p.198
- [15] 前掲 [10] p.225