

ボーム理論の現代的形式とその世界観について

森 川 亮

山形大学准教授大学院理工学研究科

Research on the Modern Form and the World-Picture of Bohm Theory

Ryo Morikawa

*Associate Professor, Graduate School of Science and Engineering,
Yamagata University*

Abstract

In this paper the criticism to the Bohm's quantum theory has been discussed in the beginning. Then a formalism change of this theory from its original form to recent one is shown. The differences between the normal Copenhagen interpretation and that of Bohm's quantum theory are possible to be seen. Bohm's new idea and new terms such as implicate and explicate order, process, unfold and enfold are discussed to give an interpretation to the theory. This is also able to show that Bohm theory requests the radical change about our world-picture.

Key words; Bohm theory, The implicate & explicate order, Quantum potential and Information.

1：ボーム理論はなぜ要請されるかー様々な反論への回答にかえて

物理学には量子力学の標準解釈¹なるものがあり、近年いくらか状況が変わってきたとはいえ、いまだに標準解釈は文字通りに標準と目されている。これは、「量子力学のコペンハーゲン解釈」と呼称され、基本的にここからはみ出すものは異

端的解釈とされる。だが、標準解釈では観測がなされていない場合の系が「実際に」どうなっているかについてはまったく説明できない。それどころか、かかる標準解釈においては、観測されていない系について具体的に言及すること自体を禁じているのである。しかしながら、これでは、科学理論が提示するものは、認識論だけということとなり、存在論へは一切寄与することが不可能になる。ここに標準とは異なる解釈や理論を検討する意義がある。

現行の標準解釈が決定的に優勢となったのは1927年のソルベイ会議だとされる¹。この会議でコペンハーゲン派に抗してパイロット波の理論を提示したド・ブロイは痛烈な批判にさらされ、以

i 量子力学に「標準解釈」あるいは「通常解釈」なるものがあるのか、ということについて、BohmとHileyは、コペンハーゲン派の学者の見解にも微妙な差異があることを認めつつ、例としてBohrとvon NeumanとWignerを引き合いに出し、これらを「通常解釈」と呼ぶとしており本論も彼等の呼称を継承することにする。

後、アンチ・コペンハーゲン解釈、そして量子力学の理論を解釈するということについては徐々に下火となっていった。そして、やがてそうした研究そのものがタブー化されていったのである。

だが、1927年に提示されたパイロット波の理論は、ボーム理論の先駆けとなった。その後、ボームがパイロット波理論に向けられたすべての反論に対して明確に答えられるような形に理論を洗練させて世に問うたのが1952年²である。以後、ボームの量子論は、標準理論へのもっとも強力なアンチとして今日までその命脈をつないでいる。実際、この理論に対しては、半世紀にわたって数多の批判が浴びせられてきたが、そのいずれもが決定的な批判とはなっていない。なぜならば、ボームの理論は、通常の理論が行う理論予測と寸分の違いもなく同一の結果を予測するからである。異なっているのは、その理論形式とその背後にある自然観、あるいは哲学である。

標準的な量子力学では、観測機器と対象系との相互作用によって系の状態は一意に決定し、それに伴って系の固有状態と固有値が決る。しかし、観測がなされた瞬間に系の時間は止まってしまう。つまり、対象系は観測がなされた瞬間に、ある一つの固有状態に収束するが、次の観測が行われるまではどのような経路をとってどこへ至るのか、あるいは、そもそも系がどんな状態にあるかは分からない。理論は考えられる状態の確率を予測するだけである。こうした量子力学の現状を称してMillerとWheelerは標準解釈の描く世界像をSmoky dragonと表現する³。なぜならば、最初と最後（頭と尻尾）は判明するが、両者の間がどうなっているかがまったく分からないからだ。

対象がドラゴンならば（ここではドラゴンにマクロ物質を代表させている）、雲に隠れた身体は見えないだけで確実に存在しているはずである。だが量子力学は、このドラゴンの身体が状態関数の重ね合わせだと主張する。そして、それが我々の理論や観測技術の不充分さのためではなく、世界は実際に、観測されない場合は、状態関数の重ね合わせである、と考えるのが標準解釈の立場である。一方、雲に隠れているだけでドラゴンの身体は一意に存在するはずである、と考えると諸々の隠れた変数理論へと至る。つまり、相補性をた

だ単にepistemologicalなものと考えればontologicalな対象が観測の有無に関係なく存在すると考えていることになる。こう解釈した場合、相補性は単にepistemologyに関わるだけであり、存在の核心に関わる性質ではないことになる。しかし、相補性が本質的なontologyであると解釈すれば対象は我々が観測を施さなくては確固たる存在にはならない⁴。

ボーム理論は相補性をepistemologicalなものと考える。そして、この理論によってontologicalな対象を「思い描くこと」が可能になる。もし、相補性がontologyなら、世界には確固たる形姿がないことになる。ボーム理論は世界をontologicalに描こうとするのであり、ボームの言葉を用いれば現行の量子力学の理論はquantum nonmechanics⁵と言わざるをえないものである。

だが、粒子がontologicalに軌跡を描くことが理論的に予測されても、ボーム理論は「実際に」粒子がその軌跡を移動しているという主張をしているわけではない。Hileyは次のように述べている。すなわち、「それは分からない。見ることはできないが存在するとimagineできるのみだ」⁶、と。ボーム理論では、軌跡を「思い描く」とこととその軌跡を実体的粒子が「現実」に飛翔している、ということとは注意深く分けられている。ボーム理論であっても「実際に」どこを粒子が飛翔しているのかは謎である。これは、現実にはいかなる方法をもってしても粒子の軌跡を見ること（観測すること）が原理的に不可能であることによる。だが、我々は「粒子はボーム理論によると $\mathbf{P}=\nabla S$ という軌跡を飛翔している」と述べるのが可能になる。繰り返しになるが、現実にはどこを粒子が飛翔していようが、それは問題ではない。重要なのは、実際にどこを飛翔しているのか、ということではなく、どこかは分からないが、確かに飛んでいる、ということである。そもそも標準解釈では「粒子がAからBへ飛翔する」という言表自体がナンセンスだったのだ。あるいは、こうしたピクチャー自体を無意味であると拒絶するのである。だがボーム理論は粒子がAからBへ飛翔している、ということと言表可能にするのである。すなわち、ボーム理論は、ontologicalな形姿を対象に持た

せることに成功したのである。

ところが、ボーム理論への反論は絶えないⁱⁱ。その要点は、Zeh⁷に要約される。Zehは、「ボームの量子力学が成功している点はシュレーディンガー波動力学を完全に満たすということにすぎない。ところが観測の場合には意味がない（軌跡は、そもそもunobservableだからmeaninglessであると述べる）ⁱⁱⁱ。それはただ古典的な先入観を基盤にするだけだ」と述べるのである。また、日本では「ボーム理論はすでに過去のものとなっている^{iv}」という見方が大半である^v。Zehの批判の前半部分への回答は上記してきた通りである。後半部分への回答は「では、世界は観測されていない時には具体的にどんな存在としてあるのか」と逆に問いを投げかけたい。なぜならば、私は今、山形大学工学部の自室にいますが、私が観測できない場所、例えば東京は、非存在なのだろうか？あるいは、誰にも発見されることなく切り立った山岳の崖っぷちに咲く一輪のスマイルは誰にも発見されない、つまり観測されないが故に非存在であろうか？議論を容易にするために卑近なマクロの例を引き合いに出したが、ミクロにおいても同様の存在のパラドクスが生じることは確実だからである。結局、これらの存在のリアリティーを標準解釈はどう担保するのだろうか^{vi}？忠実に標準解釈に従うとそれはシュレーディンガーの猫と同じ状態である。つまり、波動関数の重ね合わせの状態であ

ii この反論の根幹には物理学者集団の社会的かつ歴史的な背景が色濃くある。たしかにBohmとHileyが述べるように、1927年にド・ブロイの理論が採用され、25年後に現在の標準解釈を誰かが言い出したら状況はまるで逆転していたことだろう (The undivided universe p4)。

iii Hileyはunobservableということがなぜ批判されるのか分からない、と述べる。……Yet in quantum mechanics the wave function is 'unobservable' but I never hear anybody calling it meaningless. と (文献6参照)。

iv ボームの名が出たとたんにアレルギー反応を起こす物理学者もいる。また、物理学に哲学的考察を施すことに嫌悪感や敵意を抱く物理学者すらいる。ここにも物理学者集団と物理学の歴史的成立の背後に秘められた特徴をかいま見ることができると言えそうである。

v こうした議論に対する「そもそも文脈-contextが異なっている。物理学はそういう問題を問題とは認めない」という反論には、「それほどまでにcontextが異なった原因は何か」と問い返えそう。

る。だが、実際に観測されていない世界は本当に非リアルなのだろうか？現象は「観測された現象」となるまでは現象ではない^{vii}、のと同様に観測されていないものは存在ではないのだろうか？

標準解釈に従う限り観測されていなければそれを存在とも現象とも称することはできないことになる。これらに確固たるリアリティーを与えるのがボーム理論である。また、それによって数々の量子論のパラドクスに一貫した回答を与えることが可能になる。これは、いくらでも強調しなくてはならないボーム理論の利点である。

本論はボーム理論の初期形式から説き、現在どんな形式を有するかを述べる。形式を概観することは、ボーム理論の世界観を議論する基盤である。そしてそれは、ボーム理論が古典的な先入観に縛られているだけだというZehの批判への回答にもなるだろう。

結論を先取りして述べれば、ボーム理論は世界観の変貌を要求しているのである。かくして、これは物理学内部にのみ留まるような問題ではなく、世界観についての科学理論であり、世界観についての一つの思想なのである。

2：古い形式のサマライズ

まず1952年の理論形式を概観しておく。

波動関数を $\Psi = R \exp(iS/\hbar)$ と書いてシュレーディンガー方程式

$$i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 \Psi + V\Psi \quad (1)$$

へ代入し、実数部分と虚数部分に分けると、

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \frac{(\nabla S)^2}{2m} + V - \frac{\hbar^2}{2m} \frac{\nabla^2 R}{R} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial R^2}{\partial t} + \nabla \cdot \left(R^2 \frac{\nabla S}{m} \right) = 0 \quad (3)$$

を得る。(3)式は虚数部分から導出された確率保存方程式であり、 $P = R^2$ で確率である。(2)式

vi Wignerは述べる 'No phenomenon was a phenomenon until it was an observed phenomenon' であると。

は実数部分から導出され、第4項が第2項にくらべて極端に小さい場合は第4項を無視して

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \frac{(\nabla S)^2}{2m} + V = 0 \quad \text{となる}^{\text{vii}}. \quad \text{では第4項}$$

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\nabla^2 R}{R} \quad \text{が無視できない場合はどうなるのか.}$$

これがボーム理論の要である。つまり、ポテンシャル V への付加項として^{viii}、量子ポテンシャル

$$Q = -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\nabla^2 R}{R} \quad (4)$$

が定義される。故に量子 Hamilton-Jacobi 方程式は、

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \frac{(\nabla S)^2}{2m} + V + Q = 0 \quad (5)$$

となる。

以上をどう考えるのか。 S は Hamilton's principle 関数であり、 $\frac{\partial S}{\partial t} = -E$ と $\nabla S = \mathbf{P}$

を満たす。(5)式はエネルギー保存式でもあり、粒子はミクロ系においても $\nabla S = \mathbf{P}$ の軌跡を持つと考えられる。そして粒子は運動方程式

$$m \frac{d\mathbf{v}}{dt} = -\nabla(V) - \nabla(Q) \quad (6)$$

を満たす。つまり粒子には古典力と量子力が同時に働いており、量子力が弱いときには右辺第2項を無視できる。つまり完全な古典力学の運動方程式と一致する。かくして、ボーム理論は古典力学と量子力学の間に力学的に非常にクリアな対応関係を見せるのである。

さらに多体系の場合^{ix}、量子 Hamilton-Jacobi

方程式は、

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \frac{1}{2m} \sum_i (\nabla_i S)^2 + V + Q = 0 \quad (7)$$

となり、量子ポテンシャルは、

$$Q = -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\sum_i (\nabla_i^2 R)}{R} \quad (8)$$

である。こうした定式化はEPR等の相関性を量子ポテンシャルの相関性から一貫して説明する方法を提示する。相関性の有無は量子ポテンシャルの非局所性の有無に関わることになる。例えば、量子ポテンシャルが

$$Q(r_1, r_2, \dots, t) = Q(r_1, t) + Q(r_2, t) + \dots + Q(r_n, t)$$

のように個々の粒子による量子ポテンシャルの加算で表現される場合には、個々の粒子は完全に独立して振る舞う。つまり非局所性は失われており、粒子同志の相関性が切れて、粒子は局所的に振る舞うのである。量子ポテンシャルが非局所性を失う条件は(量子ポテンシャルが上記のような加算で表現される条件は)、系の波動関数が個々の粒子の波動関数の積、

$$\Psi(r_1, r_2, \dots, r_n, t) = \phi_1(r_1, t) \phi_2(r_2, t) \dots \phi_n(r_n, t)$$

と表現される場合である。

マクロ物質の間には特別な場合を除いて有意な非局所的相関性はない。つまり、マクロ系では波動関数が積の形になると考えられる。しかし、当初、相関していたもの同士の間がいつどのように切れ、結果として非局所性がどの段階において消えるのかは充分に分かってはいない。言い方を変えれば、どのようなメカニズムで系の全状態が波動関数の積の状態に変化するのかが体系的に判明しているわけではない^x。だが、非局所性がある

vii 古典 Hamilton-Jacobi 方程式

viii だからといって量子ポテンシャルは古典ポテンシャルと質的に同じということではない。量子ポテンシャルは系をとりまく information を含む information potential である。ここで言う information とはシャノンが物理学の一分野として確立し、定義した静的な「情報」ではなく、自発的活性を持ったものと解釈される。

ix 例えば EPR 相関の最大距離は年々大きくなってゆが、

なぜその距離に最大値があるのかは不明である。理論的には、外的な擾乱がなければ無限遠方まで相関性が維持されていなくてはならないからだ。非局所性の喪失の例は Bohm と Hiley の文献 1, p151 で扱われており、古典領域で量子ポテンシャルが喪失する理論を展開している。

る段階で消えるのは事実である。これは今後の研究を待たなければならない。

以上がボーム理論の初期形式の骨格と要点である。明らかにまだ波動力学の影響が色濃くあり、それがボーム理論の理解を困難にしている。量子力学とボーム理論は異なった理論だからだ。同一の現象を異なった理論で扱っているのである。だが、色濃く残る波動力学の影響から量子力学の理解にボーム理論の理解がひきずられてしまいこの理論への真の理解を拒んでいる。ところが近年、様相は一変している。

3：近年の発展

ディラックはハイゼンベルグの行列力学とシュレーディンガーの波動力学の同等性を示した。これと同じように上記した理論をハイゼンベルグ形式で展開することが可能なはずである。以下ではここ数年で得られた知見をできるだけ簡潔にサマライズする¹¹⁾。

ある事象Eがあったとする。我々が見る秩序であるEはexplicate orderでの秩序である。ここで、あるprocess $\mathbf{P}_1$ がexplicate orderに E をimplicate orderからunfoldし、process $\mathbf{P}_2$ がimplicate orderに E をenfoldしたとする。さらにenfoldとunfoldのprocessパラメーターを τ とする（この τ は何であってもこの議論には直接関係ない）。すると、事象との近似性^{xii2)}から（あるいはenfoldingとunfoldingがautomorphismであることから）、

$$E'(\tau_1)\mathbf{P}_1 = \mathbf{P}_2 E(\tau_2) \quad (\tau_2 > \tau_1)$$

であり、かくして事象 E は、

$$E'(\tau_1) = \mathbf{P}_2 E(\tau_2) \mathbf{P}_1^{-1} \quad (9)$$

と記述できる。ここで一連のprocess $\mathbf{P}$ を単純化のため

$$\mathbf{P} = \exp[-i\hbar H(\tau_2 - \tau_1)]$$

とする^{xiii)}。 $\tau_2 - \tau_1$ が十分に小さければ(9)式は

$$E' = (1 + i\hbar H \Delta\tau) E (1 - i\hbar H \Delta\tau) \quad (10)$$

なので、processパラメーター τ を時間とみなせば、ハイゼンベルグの運動方程式

$$\frac{dE}{dt} = \frac{1}{i\hbar} [H, E] \quad (11)$$

を得る。

ここで $E = |\Psi\rangle\langle\Psi|$ として(11)へ代入すると、

シュレーディンガー方程式とその共役形式

$$i\hbar\partial_t |\Psi\rangle = H |\Psi\rangle \text{ と } i\hbar\partial_t \langle\Psi| = -H \langle\Psi| \quad (12)$$

を得る。さらに、 $|\Psi\rangle$ を $A = \exp[iS(r, t)]$

とし、 $\langle\Psi|$ を $B = \exp[-iS^\dagger(r, t)]$ とする。

すなわち $E = AB$ として(12)へ代入することで、commutatorとanti-commutatorとの関係式、

すなわち $[A, B]_- = AB - BA$ (commutator)と

へ垂らしてグリセリンを攪拌機で右にn回転させるとインク滴は消えてしまうが、左へn回転させると消えていたインク滴が現れる」と、ボームは世界の秩序とはこのようなものだと考えるのである。ここで、インク滴はグリセリンの中にenfoldされ内蔵されていたのである。すなわち、見えないだけで、秩序は世界の深部にいわば内包されていたのである。これを逆回転させて出現させることをunfoldと呼び、こうして出現する秩序をexplicate orderと呼ぶ。ここでは、右へn回転させてimplicateした事象 E と左へn回転させて再びexplicateした E' が、その一連の生成・消滅の過程でちょうど裏表の関係にあるために、これを同等としてよい、ということを表している。

xii なぜこのような単純化が可能なのかと言えば、他ならぬ $\mathbf{P}$ が 'process' だからである。もし、パラメーターが時間であればprocess $\mathbf{P}$ は時間推進演算子そのものである。また、これは恣意的な仮定ではない。なぜならば、Goldsteinが述べるように古典力学においてもハミルトニアンは「時間推進の生成演算子」と解釈されるからである（H. Goldstein, Classical Mechanics, p407-408. 2nd ed. Reading, MA: Addison-Wesley, 1980）。だからここに「 τ 推進の演算子」を持ってくるのである。またJ. J. SakuraiもこのGoldsteinの議論からシュレーディンガー方程式を導いている（J. J. Sakurai, 現代の量子力学（上） p95-96 吉岡書店 1989 Modern Quantum Mechanics, The Benjamin 1985）。

x 以下ボーム独特の用語process, explicate, implicate, enfold, unfoldなどを意図的に英語で書く。

xi ボームは、これを以下のようなグリセリンの例を用いて解説している。円く「 $\cdot$ 」滴のインクをグリセリンの中

$$[A, B]_{+} = -(AB + BA) \text{ (anti-commutator)}$$

を導くことができる¹³。さらに、簡単化の為に密度行列を純粋状態

$$\rho = |\psi\rangle\langle\psi| \text{ とすると,}$$

$$i\hbar\partial_t\rho + [\rho, H]_{-} = 0 \quad (13)$$

$$i\hbar\bar{\partial}_t\rho + [\rho, H]_{+} = 0 \quad (14)$$

を得る。ただし $\bar{\partial}_t$ は anti-commutator に付随した anti-derivation^{xiii} である。

$$\text{さて, (13) 式の Liouville 方程式を } \langle r | \text{ と } | r \rangle$$

で挟み込むと,

$$\langle r | \rho | r \rangle = \Psi^*(r, t) \Psi(r, t) = P(r, t)$$

となり, ここで P は確率密度である。そして,

$$i\hbar\partial_t P(r, t) + \langle r | [\rho, H]_{-} | r \rangle = 0 \quad (15)$$

を得る。ここに, $H = \frac{\mathbf{p}^2}{2m} + V$ を代入すると,

$$\langle r | [\rho, H]_{-} | r \rangle = i\hbar \nabla \cdot \mathbf{j} \text{ となる。つまり,}$$

$$\partial_t P + \nabla \cdot \mathbf{j} = 0 \quad (16)$$

となり連続方程式である。

(15) 式については, これも $\langle r |$ 、 $| r \rangle$ と挟み込み

$$\Psi(r, t) = R(r, t) \exp[i\hbar S(r, t)] \text{ とすれば,}$$

即座に,

$$P(r, t) \partial_t S(r, t) + \frac{1}{2} \langle r | [\rho, H]_{+} | r \rangle = 0 \quad (17)$$

となる。なお, この方程式はゲージ普遍性を有することが Brown と Hiley によって示されている^{xiv}。

^{xiii} $\bar{\partial}_t \alpha \beta = - \left[\left(\bar{\partial}_t \alpha \right) \beta - \alpha \left(\bar{\partial}_t \beta \right) \right]$ となる。詳しく

は Hiley の文献 6, p11 を参照のこと。

^{xiv} 参考文献 11 を参照

ここで, (17) 式に $H = \frac{\mathbf{p}^2}{2m} + V$ を代入すれば,

$$\partial_t S_r + \frac{(\nabla_r S_r)^2}{2m} - \frac{\hbar^2}{2m} \frac{\nabla_r^2 R_r}{R_r} + V(r) = 0 \quad (18)$$

となり, (5) 式と同様の量子 Hamilton-Jacobi 方程式を得る。

以上が近年のボーム理論の形式である。ここには数学的にも論理的にも一切の恣意性はない。そして, 注目すべきは理論展開の出発点をボーム独自の存在論にとることである。

次にこの理論の解釈を試みる。

4：見える秩序と見えざる秩序

上記してきた事柄はボームの言葉で述べると, Explicate Order (顕然秩序) と Implicate Order (内蔵秩序) の両者の間でのことである。すべての事象 (または現象) は, 出現し消滅するという process を有する。事象は implicate された見えない秩序の層から unfold され explicate されている層へと文字通り「顕然する」のである。そして再び事象は enfold され, implicate された層へと姿を消す。前節の最初に行われた事象 E についての定式化は, ここに概観した理論がこのようなボームの存在論と切り離すことができないことを示している。そして, こうした議論から実際にハイゼンベルグの運動方程式が導出されてきた。52 年の形式が最初にシュレーディンガー方程式を前提にして始められるのと現在の形式を比べると, 現在のそれは完全に「ボーム力学」, あるいは「ボーム存在論」と呼ぶべきものである。ボーム理論の核心には, 事物は生成し, 変転し, やがて滅してゆく, という極めて東洋的な存在の捉え方があるのである¹⁴。すなわち, 従来の自然科学の世界観とは根本的に異なった自然観の上に理論が打ち立てられているのである。そもそもボーム理論では, 運動という言葉の意味が従来のそれとは異なっている。ボーム理論の運動とは Explicate Order のそれだけではなく explicate された事象とそれを unfold した Implicate Order との「全体的な動

き」のことまでも含んでいると考えられている。すなわち、純粹にボーム理論から導出された式(12)は観測可能な秩序についてだけの記述ではなく、その背後に仮定される「ある定義不可能な全体的運動」¹⁵ともいべきものを内包しているのである。つまり(12)式は生成と消滅、そして変転といった、いわば生々流転のprocessの内的なmechanicsを含意するのである。ボームの物理学は絶えざる変化のprocessからなる存在物の動的な理論であり、静的なmechanicsではない。それは、言うなれば、極めてオーガニックなmechanicsだ。ボームは、あらゆる事象、あらゆる存在物、つまり万物はアリストテレス流の形相因を有しているとすら考えるのである。

ボームは述べている、processは全体的運動のことを指し、『「形相因」という言葉で指示されているのは、外部から課せられた単なる形式ではなく、むしろ事物が何であるかを規定する本質的な秩序と構造を生み出す内的運動である』¹⁶、と。ここで、ボームが述べる「内的運動」という語は、「全体的運動」という語に置き換えるとさらに事態が明確になる。秩序と構造は、Implicate OrderとExplicate Orderとの全体的運動を出地とするからである。

さらに、こうした存在論は、素粒子物理学のように存在の究極実体を探し求めるものとはまったく異なった存在の概念を有している。極微の世界に究極の存在がある、という原子論的な存在論ではなく、変化していること、変動していることこそが存在にとっては本質的であるとするのだ¹⁷。AはBとなり、BはCとなる。そして、CはDへと変化し、やがてまたAへとぐるりと円環を巡って戻ってくる。この一連のprocessのなかで、どれか一つをファンダメンタルであるとするなど無意味である。むしろ、ファンダメンタルなのは、このprocessそのものだと考えるのがボーム理論の核心なのだ。事実、ボームは最終理論であるとか物質の究極の構成実体というものを否認する^{xv}。

また、量子ポテンシャルは事物を根底から下支えするinformationのポテンシャルである¹⁸。そしてかかるinformation自体がimplicateされ、絶え間なく拡がっている。量子ポテンシャルの効果は距離やその強度の強弱によって変化するのでは

なく、ただそのformのみによっている¹⁹。そして、implicateされたinformationが系に対してactiveなチャンネルに入った場合（系に対してactiveとなった場合）、informationは自らの形（form）を文字通り自らのin—内—においてform—形成—しようとする—すなわち、'in-form'しようとする²⁰。かくして外的であったものが内的になり、かつ内的なものが外部へと作用するような事態が生じる。つまり、「内即外、外即内」なる事態が生じる。こうして、秩序（例えば粒子も一つの秩序である）が生まれ、その秩序は出現とともに自らの母胎であるinformationのfieldを自らの存在でもって改変しようとする²¹。そう解釈することでしか粒子が設定された実験環境に沿って自らの振る舞いを瞬時に変化させるという事実首尾一貫した説明を与えることはできない。ボーム理論の代名詞ともなっている量子ポテンシャルは、このように解釈可能であり、またこのような性質を有するのである。

5：世界観について—結論

最後に上記してきた理論の意義について、通常の量子力学や古典力学（および、古典物理学一般について）とも比較して再考察し、本論の結論としたい。

たしかにボーム理論構築の最初の動機は、古典力学（古典物理学）とのギャップを埋めることにあった。そして実際にそのギャップは最初の定式化で埋められている。だがここにZehのような誤解が入り込んだ。しかし、これはZehの一方的な誤解であり、ボーム理論はZehが主張するような、ただシュレーディンガー方程式を完全に満たすだけの「古典帰り」などではない。なぜならば、この理論の理論的形式の背後には古典物理学とも標準的な量子力学とも異なったまったく新しい存在論、大きく述べるならば「新しい世界観」があるからだ。ニュートン力学が生々流転のprocessを

xv BohmとHiley文献1のp4には、むしろ最終理論の否定と物理学帝国主義への批判とも取れる記述がある。また究極実体についての議論は現在進行中だが、 $\mathbf{P} = \nabla S$ は実体ではないというのが我々の立場である。Bohm派は、実体的な究極存在が根源的なのではなく、上記したように、生成、消滅、変転といった変化のprocess自体が根源的だと考える。

描くことはないし、不可能である。存在は単に無目的にそこに存在し、外的要因から運動が生じるだけである。ボーム理論の場合、顕然している事象は、ある定義不可能な全体的な運動からの写像、あるいは影である。それは深層において内的必然性を持ってそこに生じている（あるいは出現している）。すなわち、ボーム理論は古典力学（古典物理学）とのontologicalな一貫性を担保することに成功すると同時に、近現代物理科学のパラダイムに根本的な改変を求めるのである。かかる視点から俯瞰すると、量子力学の標準解釈が説く自然観と古典物理学の説く自然観に大差はない。なぜならば、いずれも世界を無目的で不活性なものとみなすからだ。

量子力学は、確かに観測という行為を通してこちら側（人間）と対象系との相互作用の必然性を明らかにした。だが、それは己をも含めた世界が自発的かつ形相因的な内的活性と必然性を持つということではない。科学はこうした世界像を「対象の擬人化」であるとして低俗なものとする傾向がある。かくして、現代科学の思考パターンとボーム理論の描く世界像は、根底において鋭く対立するのである。そして、究極的には、この一点にボーム理論への科学界からの拒絶反応の核心があると推測される。なぜならば、繰り返しになるが、ボーム理論は通常の物理学の枠内からも大きくはみだし、これまで科学が描いてきた世界像に大きな変容を迫ることになるからである。

閉じられた有限の世界を物理科学は無限の広がりを持つそれへと変えていったとされる。そこには世界観の決定的な変貌があった、と多くの論者は述べる²²。だが、ボームの理論は、それ以上に世界に変貌せんことを要求するのである。このような意味においてボームの理論とは、世界の創造なのである。そして、この「創造」はまだほんの端緒についたばかりであり、この理論がいかなる世界を人類に開示せしめるかを知るのは、偏に未来人のみなのであろう。

Acknowledgments

I should like to express my gratitude to my professor Basil J Hiley (London Birkbeck) and the member of TPRU Birkbeck College for their many discussions.

参考文献

- 1) D.Bohm and B.J.Hiley: The Undivided Universe, An ontological interpretation of quantum theory, p3 Routledge, London 1993
- 2) D.Bohm, An Interpretation in Terms of Hidden Variables, Phys. Rev. 85, 166-193, 1952
- 3) W.A.Miller and J.A.Wheeler, Delayed-Choice Experiments and Bohr's Elementary Quantum Phenomenon, p.140-51. Proc. Int. Symp. Found. Of quantum Mechs. Tokyo. (Physical Society of Japan, 1983)
- 4) B.J.Hiley, Non-commutative Geometry, Bohm Interpretation and the Mind-Matter Relationship, Proc. CASYS 2000, Liege, Belgium, Aug. 7-12, 2000
- 5) D.Bohm, Quantum Theory, p167, Prentice Hall 1951
- 6) B.J.Hiley, From Heisenberg Picture to Bohm: a New Perspective on Active Information and its relation to Shannon Information p3, Quantum Theory: reconsideration of foundations. International Conference at Vexjo University, Sweden: June 17-21, 2001
- 7) D.Zeh, Why Bohm's Quantum Theory, Found. Phys. Lett., 12, 197-200, 1999
- 8) 例えば 和田純夫：特集「波動関数のミステリー」について p5 数理科学 July 2002 469
- 9) R.Morikawa, Limit of the Cartesian Order, Proc. Annual 24th of the International Meeting of ANPA, p49-73 Cambridge 2003

- 10) B.J.Hiley, Quantum Mechanics and Reality. p46~ The Nature of Reality, Editors J.L.Grashuis, J.A.F.Oomen, R.Stoeckart and G.S.A.M. van de Ven, Organization Studium Generale Rotterdam, Erasmus University 1982
- さらに,
 - Bohm and Hiley ibid. 1993 p56~
- 11) この理論展開は主に次の文献に詳しい
 - B.J.Hiley, 参考文献 4 と 6 ,さらに,
 - M.R.Brown and B.J.Hiley, Schrödinger revisited: an algebraic approach, quant-ph/0005026(F) 2000.
 - B.J.Hiley, A Note on the Role of Idempotents in the Extended Heisenberg Algebra, Proc. Annual 22nd of the International Meeting of ANPA, 107-121,Cambridge, 2001.
 - B.J.Hiley, Algebraic Quantum Mechanics, Algebraic Spinors and Hilbert Space, 2002
- また, 以下は特に詳しい解説がなされている.
 - Ryo Morikawa, Limits of the Atomism, the Bohm way of a new ontology, Electric Journal of Theoretical Physics, p1-10, Italy, 2007
- 12) D.Bohm, Causality and Chance in Modern Physics Routledge and Kegan Paul, London 1984もしくは,
B.J.Hiley, 文献 4 を参照
- 13) M.R.Brown and B.J.Hiley, ibid.p3-4
- 14) R. Morikawa, ibid.
- 15) D・ボーム 全体性と内蔵秩序 青土社 p101
1996 Wholeness and the Implicate Order, p49 Routledge 1980
- 16) D・ボーム ibid. p43 原著p12
- 17) R.Morikawa, ibid および,
 - Ryo Morikawa, ibid.
- 18) Bohm and Hiley, ibid
- 19) Bohm and Hiley, ibid. p31
- 20) B.J.Hiley, Nonlocality in Microsystems, p315-336 Scale in Conscious Experience; Is the Brain Too Important To Be Left to Specialists to Study? Edited by :J.King and K.H.Pribram LAWRENCE ERLBAUM ASSOCIATES, PUBLISHERS 1995
- あるいは,
 - B.J.Hiley, Active Information and Teleportation, p113-126 Epistemological and Experimental Perspectives on Quantum Physics, Kluwer Academic Publisher 1999
- 21) G.L.Miller, Resonance, Information and the Primacy of Process: Ancient Light on Modern Information and Communication Theory and Technology, Doctorial Dissertation, Rutgers, 1987
- 22) 例えば, Alexandre Koyre, From the closed world to the infinite universe, The John Hopkins Press Baltimore, 1957,
邦訳 アレクサンドル・コイレ 閉じた世界から無限宇宙へ 横山雅彦 訳 みすず書房 1973,
及び, コスモスの崩壊——閉ざされた世界から無限の宇宙へ 野沢協 訳 白水社 1999

