

## Huw Price からの教訓 西脇 与作（慶応義塾大学）

1 私は1997年度の大学院の授業で Huw Price, *Time's Arrow and Archimedes' Point* (1996, Oxford U. P.)を取り上げた。授業は残念ながら白熱したわけではなかったが、実に刺激的な内容をもった主張がそこには展開されていた。その内容をすべてまとめることはしないが、その典型を以下の要約と彼の論文を通じて垣間見た上で、彼の刺激的な主張がどのような意義をもつかを考えよう。その後で、彼の主張とは異なる方向への時間研究の発展を考えてみよう。

2 この本は時間を超えた視点から時間の向きについての謎を考えなければならないことを主張している。私たちが時間のなかで生まれ、生活していることが物理学者や哲学者の眼を曇らせ、時間の向きについての客観的な考察を阻害している。アルキメデスは地球と砂粒が同じ対象であり、地球さえ適当なところがあれば動かすことができると言い、Nagel は科学の特徴を a view point from nowhere と述べたが、Price はそれらに習って a view point from nowhen とその時間を超えた視点を特徴づけている。哲学では時間について二つの異なる考えがある。時間は流れ、現在は世界の客観的な特徴であるとするグループと、時の流れや現在は単に主観的なものに過ぎないと考えるグループである。彼は後者の立場から時間の非対称性について次の事を区別した上で二番目のことについて論じている。

- ( 1 ) the question whether time itself is asymmetric
- ( 2 ) the question whether physical processes are asymmetric in time

本論は二つの部分からなる。2章から4章までは従来の熱力学、放射現象、宇宙論に含まれる非対称性の証明の誤りが指摘される。それは非対称的な仮定という誤りであり、つまりは本来ならばいずれの時間の向きにも同じように適用される論証が一方の向きにしか使われないという誤りである。これでは時間非対称性という結論は何も伝えてくれない。非時間的な観点が必要である。3章では放射の非対称性を考える。なぜ水の表面の波は内側ではなく、外側に広がって行くのか。Wheeler and Feynman による有名な Absorber Theory of Radiation はこの波の非対称性を熱力学の非対称性に還元しようとする試みであった。残念ながら彼らの理論は暗黙の非対称性という仮定のゆえに成功しない。しかし、彼らの理論の数学的な核心部分は放射が非対称的でない仕方で再解釈が可能である。4章は宇宙論で、時間非対称性はなぜ宇宙が初期にエントロピーの低い特別な条件にあったかという問いに至る。宇宙論者も他の物理学者と同じようにこっそり時間非対称性をもち込むという誤りを犯し、宇宙の初期の低エントロピーの説明に失敗している。このような第一部の目的は世界が時間に関して非対称であることを物理学がどのように述べてきたかを明らかにするとともに、物理学自体がその内部に埋め込まれた時間の非対称性から開放されることである。

第二部はアルキメデス的な観点（＝時間対称的観点）が量子論の解釈に新しい光を投げかけてくれることが述べられる。私たちの日常の世界が時間非対称的な観点の産物であることを認識するならば、なぜ量子力学がそれほど謎めいて見えるかを説明できる。アルキメデス的な観点から量子力学を眺めることによって、その古典的な見解のもつ障壁を取り除いてくれる。非局所性、アインシュタインの好きな実在論的な解釈、観測者の謎といった問題を解決してくれる。要は私たちの日常的な思考に深く根差していた時間非対称性の仮定を取り除くことである。これらの仮定のなかには因果性、物理的依存性等が含まれている。5章から7章まではこの時間非対称的な直観への攻撃である。6章では因果性のもつ非対称性がどのような物理的非対称性にも還元できないことが論じられる。現在利用できる物理的非対称性はすべてマクロなもので、したがって、ミクロ物理学における因果的な非対称性を説明することはできない。非対称性の使用は人間中心主義の結果でしかない。このことから7章では、私たちの標準的な視点から述べた場合には、現在の行為はそれ以前の結果の原因になり得るかもしれないという可能性が論じられる。最後の二章はこれらの量子力学への適用である。中心になるのはアインシュ

タイムの主張である。彼は量子力学は不完全であると主張したが、その主張は一般に考えられているよりはるかに妥当なものである。その妥当性は9章での後戻り因果 (backward causation) を認めることによって示される。

3 アルキメデス的な観点はどれだけの役割を果たしているのか。単に時間の向きを想定しないという主張なのか。それだけなら、そのような用語をわざわざ使う必要はない。その観点は時間の向きが二つ同等に考えられ、いずれもが同等の物理的な権利をもっているということを意味している。その二つをつなげる地点を私たちが常識の世界で認識する地点であるとも言え、過去から未来を考えると、未来から過去を考えるとのいずれもが可能となる。しかし、ここでの過去や未来という言葉遣いは私たちの常識的な言葉遣いであり、実際のところアルキメデス的な観点ではそのような時制はない。時制は完全に主観的なものである。時制を取り払った時、どのような時点からでも物理現象を考えることができるということがそこには含まれている。量子力学の分析には確かにこのような時点の自由設定が含まれ、それが重要な役割を果たしている。

ここから用語を正確にして置こう。時間の向きがないというのは両方向に向きが同等にあるということである。時間は進行する。しかしどちらかということとは言えない。これがここでの時間に向きがないということである。

では、なぜ二つの方向なのか。三つではいけないのか。対称性から二つが出てくるが、対称的でないと二つを否定することであって、二つ以外なら何でもよい。時間軸という物理学的な記述の形式に従うならば、軸の性質から二つでなければ一つということになるというだけである。このように見てくると、落ち着き先は向きのないことが二つの向きのいずれもが同等であるということになる。向きがないから未来からでも自由に見れるのではない。一つの向きで未来であるものが真の意味で未来でないから、そのような観点が可能になるというに過ぎない。

エントロピーの話に戻ってみよう。そこでの話は両方向というより、時間の向きの仮定が密かに証明に紛れ込んで論点先取を犯しているというに過ぎない。これはアルキメデス的な観点とは関係ない。単なる論点先取である。これを論点先取だけではなく、両方向の一方だけを考える誤りと読み込んだところに彼の鋭さが見える。これは単なる論点先取ではない。その具体化である。論点先取の内容の反省である。

時間の向きに両方向がある、という仮定がアルキメデス的な観点とすれば、そしてそれが観点という仮説より弱いもの（そもそも仮説と観点はどのように違うのか）であるなら、非アルキメデス的な観点も同じように考えることができる。アルキメデス的な観点は数学に馴染む。確かに、物理学は数学と一緒に展開されてきたが、数学に従わなければならないというわけではない。非アルキメデス的な観点こそ実は長年私たちが数学化することに成功してこなかったものである。そして、物理学（それ以外の経験科学も）が暗黙のうちに数学的でない形で仮定してきたものである。

時間に二つの向きがあり、その一方を選択するというバイアスが問題となっている。何故このような事態が生じるのか。実際の私たちの生活の場ではこのようなことは起こらない。研究室の実験の場においてもこのようなことは起こらない。これは近視眼的には block space universe の考えにある。二点が空間内に与えられ、そのいずれが先に生じた点か不明の場合、二点間を結ぶ時間の向きは二つ考えられる。その二つは論理的には同等である。ところが実験室である現象を追う場合、そのような継起は一つしか生じない。二点間の向きは実際には一つしかない。これが私たちの主観的なものか、それともそれが客観的なものかは意見が分かれる。因果性はこのような向きが一つしかないという認識のもとで考え出されたものである。問題はこのような因果性も直接ではなく、含意関係によってしか私たちは表現することができないということである。このように問題を見てくると、どうも二つの基本的に異なる見方、観点があるようである。それは時間についての伝統的な哲学的問題として考えられてきたものである。時間派と無時間派の論争である。

方程式の独立変数を変化させることで、その値の変化がわかる。その独立変数の変化はいずれの方向へも変化させることができる。実数で物理量を置き換えることが先に遂行される限り、因果的な変化は取り残されてしまう。それは物理世界から数学世界に翻訳されることで一つの方向の特異性が消え、影にあったもう一つの方向も同じ資格で顔を出すのである。

すると問題は物理世界を数学で解釈する際、その解釈に意図的に考えられた解釈があるか、あるいは物理学に特有の条件を与えた上で解釈をするか、それとも、そのような条件は数学的に余計であるとして一切省くかである。後者の立場が無時間派であり、前者の立場が時間派であると言えることができる。

では、解釈のモデルはどのような仕組みになっているのか。相空間モデルの基本は状態である。それが生じるとか生じないと言うのは状態には馴染まない。それは出来事モデルではない。しかし、これを出来事と考えることができないと言うことはない。確率空間は出来事モデルに馴染む。しかし、形式上はそれは状態モデルである。

これをより詳しく見てみよう。

確率空間は状態空間の省略形、いわば情報空間である。情報は状態の一部を取捨選択したものである。状態を切り取り、出来事として取り出すことができるという仮定のもとで確率空間は実際に解釈できる。出来事は離散的である。それを計る速度は連続的であっても、出来事は依然として離散的である。これに対して状態の特徴は連続性にある。出来事は面積や体積としてその測度の値が得られるが、それはあくまで出来事が定まって与えられるもので、任意の測度に対応する出来事があるわけではない。これに対して状態は、任意の測度に対応して必ずそれに対応する状態が存在する。この辺の数学的な整備は後に譲る。

出来事と状態の違いは情報と言う観点から見ることでもできる。物理学の状態空間が原理的に記述する情報に対して、その情報の一部だけを取り出してモデルを作ることがしばしばある。最終的に自然世界に関する知識が物理学の知識に還元するという立場をとるならば、物理学以外の自然科学のモデルは原理的に状態空間の省略モデルと言うことになる。この省略は、最も簡単な場合として時間の向き的一方だけを選択するといった形で表現されるだろう。

状態の集合の情報は出来事の集合の情報によってできるだけ取り戻すように私たちの思考は働く。

#### 物理的世界と日常的世界

物理的世界がもしアルキメデスの観点によって描かれる世界とすれば、私たちの日常世界は明らかにそのような世界ではない。アルキメデスの観点が物理学の推進に効果があるということは認めるにしても、それは私たちの自然観ではない。まず、それは厳密な意味での因果的な世界観ではない。後戻り因果を認める因果関係は通常因果関係ではない。

物理的世界は数学的に考えられてきた。それは誰も疑わない。では、物理的世界が数学的でない、独自の物理的な性質をもつとすればそれは何なのか。物理学の理論の展開にとってアルキメデスの観点は有意義かもしれないが、明らかにそれは物理学的な観点ではない。

#### 現象的な世界と本質的な世界

このような区別は時代錯誤もはなはだしいと思われるかもしれないが、再考して損なことはない。科学法則は現象の法則ではなく、現象の背後に隠れている世界の基本的な性質であると言われる。それを認めるとして、では現象はどのように考えたらよいのであろうか。現象は消去されるのか。一部は法則に取り込まれるであろうが、現象そのものが法則に姿を見せることはない。特定の現象を私たちは固有名詞と呼ぶ。法則には固有名詞は登場しない。科学にはこの固有名詞の使用、つまりは非アルキメデスの観点がどのように、そしてどのくらい入り込んでいるのだろうか。というより、どれだけ非アルキメデスの観点を入れないと物理的とは呼べないのか。おそらく、物理学が経験科学であるということがこの問題にヒントになるだろう。

実験や観察をする対象を物理学はどのような特徴づけをしているのか。そのような一般基準は残念ながら見当たらない。実験や観察は時間の中で行われ、それは日常世界の出来事である。それらは現象の世界にある。因果的な歴史の世界にある。

#### 局所的性質と大域的な性質

あらゆる局所的なところで成立する性質は大域的な場面でも成立する。このような好都合なことが言えるだろうか。時間が輪廻であるなら、この性質は成立しない。時間はコンパクトではない。すると、局所的などのような場面でも時間に向きがあるが、全体では向きがないということは可能である。彼の議論で出発点でエントロピーが低いことの論証にいたらなければならぬというのはこの局所性の積み重ねが大域的であるという議論に依存していないだろうか。輪廻を繰り返すモデルでは大域的な性質は局所的な性質から超越している。(例えば、Simpsonのパラドックスを考えてみよ。)

時間感覚が第二性質であることは因果性も時間感覚の一つであり、第二性質であることを示している。

自然化するとは場合によっては心理的に心の働きを考えることであり、それは明白に論理主義とは決別している。しかし、このような方向ですぐに問題になるのは私たち人間が今まで築いてきた文化や倫理を否定することになるのではないか、すべては自然的であることが帰結する虚無感である。科学が虚無感しか帰結しないというアイロニーは正しいのであろうか。

私たちは暦の時間や時計で正確に刻まれる時刻を嫌って、あるいはそれを超越して、時間旅行を精神的に楽しんできた。それが私たちの生活を現実以上のものにしてきた。それを消し去ることなく、しかし、時間についての正しい理解はどのように得られるのであろうか。無視したり、逆らったりできる部分とそうでない部分を併せ持つ時間はどのようにして可能なのか。これが説明できなくてはならない。

(Presented to the 9th Conference of the International Society for the Study of Time, Sainte-Adèle, Québec, 2--8 July, 1995. Forthcoming in *Time, Order, Chaos: The Study of Time*, Vol. IX.)

In fact, the asymmetry of the H-theorem stems from an apparently innocuous assumption that Boltzmann had borrowed from Maxwell. Sometimes called the assumption of molecular chaos, it is the assumption that the velocities of the molecules of a gas are independent before they collide with one another. If this were assumed to hold after collisions, as well as before, the H-theorem would not yield an asymmetry. It would simply imply that entropy is non-decreasing in both directions; i.e., that it is always at its maximum value. But why should the assumption hold in one case but not the other? At best, then, the H-theorem simply replaces one puzzle about time asymmetry with another.

Second Law was thought of originally as an exceptionless principle, on a par with the other laws of physics. As statistical approaches to thermodynamics developed, however, it came to be appreciated that the principles they implied would have a different character. Deviations from the norm would be highly unlikely, but not impossible.....the conclusion is that if the Second Law is to be grounded on a statistical treatment of the behavior of the microscopic constituents of matter, it cannot be an exceptionless principle.

If all possible microstates are assumed to be equally likely, the gas will spend far more of its time in some macrostates than others--a lot of time in states that can be realized in many ways, and little time in states that can be realized in few ways. From here it is a short step to the idea that the equilibrium states are those of the former kind, and that the entropy of a macrostate is effectively a measure of its probability, in these microstate counting terms. Why then does entropy tend to increase, on this view? Simply because from a given starting point there are very many more microstates to choose from that correspond to higher entropy macrostates, than microstates that correspond to lower entropy macrostates.

This account builds the statistical considerations in from the start. Hence it makes explicit the first lesson of the reversibility objection, viz. that the Second Law is not exceptionless. Moreover, it seems to bypass the H-Theorem,

by attributing the general increase of entropy in gases not to the effects of collisions as such, but to broader probabilistic considerations. Where does the asymmetry come from, however, if not from the assumption of molecular chaos?

The answer, as Boltzmann saw, is that there is no asymmetry in this new statistical argument. The above point about entropy increase towards (what we call) the future applies equally towards (what we call) the past. At a given starting point there are very many more possible histories for the gas that correspond to higher entropy macrostates in its past, than histories that correspond to lower entropy macrostates. In so far as the argument gives us reason to expect entropy to be higher in the future, it also gives us reason to expect entropy to have been higher in the past. Suppose we find a gas sample unevenly distributed at a particular time, for example. If we consider the gas' s possible future, there are many more microstates which correspond to a more even distribution than to a less even distribution. Exactly the same is true if we consider the gas' s possible past, however, for the statistical argument simply relies on counting possible combinations, and doesn't know anything about the direction of time.....Thus the reversibility objection--originally seen by Maxwell, Thomson and Loschmidt just as an argument against the exceptionless character of the Second Law--led Boltzmann to a more important conclusion. All the same, even Boltzmann doesn't seem to have seen how thoroughly this conclusion undermines the project of his own H-theorem, which is to explain why entropy increases towards the future.

Think of the problem with the temporal perspective reversed. From this perspective it seems that entropy is high in the past, and always decreases. The universal tendency to decrease towards what we now take to be the future looks puzzling, of course, but might be taken to be adequately explained if we could show that the laws of physics somehow impose an appropriate boundary condition in that direction. Why does entropy decrease? Because it is a consequence of certain laws that the entropy of the universe must be low at some point in the future. Each individual decrease would thus be explained as a contribution to the required general decrease.

Do we need to explain why entropy is high in the past, in this picture? No, for according to the statistical account, this is not an unusual way for the past to be. All we need to do is to note that in that direction the universe does not appear to be subject to the boundary constraint that imposes low entropy towards the future. From this reversed perspective, in other words, the real work of explaining why entropy shows a universal tendency to decrease is done by an account of why it is low at a certain point in the future, together with the remark that the past is not similarly in need of explanation.

However, if we accept that this is a satisfactory account of what we would see if we looked at our universe in reverse, it is hard to maintain that it is not a satisfactory explanation of what we actually do see--for the difference between the two views lies in our perspective, not in the objective facts in need of explanation. And so from the ordinary viewpoint, all the work is done by the account of why entropy is low in the past. The future needs no more than a footnote to the effect that no such constraint appears to operate there, and that what we foresee in that direction is not in need of explanation, for it is the normal way for matter to be.

Science often changes our conception of what calls for explanation and what does not. Familiar phenomena come to be seen in a new light, and often as either more or less in need of explanation as a result. One crucial notion is that of normalcy, or naturalness. Roughly, things are more in need of explanation the more they depart from their natural condition, but science may change our view about what constitutes the natural condition. The classic example concerns the change that Galileo and Newton brought about in our conception of natural motion. I think the lessons of the Second Law should be seen in a similar light. Thermodynamic equilibrium is a natural condition of matter, and it is departures from this condition that call for explanation.

In my view, then, the problem the H-Theorem addresses--that of explaining why entropy increases--has been vastly overrated. The puzzle is not about how the universe reaches a state of high entropy, but about how it comes to be starting from a low one. It is not about (what appears in our time sense to be) the destination of the great journey on which matter is engaged, but about the starting point.

A particularly powerful way to apply Culverwell' s insight is like this. Suppose that the proponents of the non-linear dynamical methods--or any other dynamical method, for that matter--claim that despite the fact that it is a symmetric theory, it produces asymmetric consequences in thermodynamics. To undermine their claim, we describe an example of the kind of physical system to which the new method is supposed to apply, specifying its state at some time  $t$ . We then ask our opponents to tell us the state of the system at another time, say  $t + 1$ , without being told whether  $t + 1$  is actually earlier or later than  $t$ . (That is, without being told whether a positive time interval in our description corresponds to a later or an earlier time in the real world.) If our opponents are able to produce an answer without

this extra information, then their theory must be time-symmetric, for it generates the same results in both temporal directions. If they need the extra information, on the other hand, this can only be because at some point their theory treats the two directions of time differently--like Boltzmann's original H-Theorem, in effect, it slips in some asymmetry at the beginning. So in neither case do we get what the advocates of this approach call "symmetry-breaking": a temporal asymmetry which arises where there was none before. Either there is no temporal asymmetry at any stage, or it is there from the beginning.

*The Arrow of Time* by Peter Coveney and Roger Highfield. W H Allen. Pp 378  
*Nature*, 348 (22 November, 1990), p. 356.

The book's basic mistake is to fail to properly distinguish several quite separate issues about time. For a start, the authors overlook an ambiguity in the arrow metaphor, and hence confuse the issue of the directionality of time (i.e., the question whether the universe is symmetric in time) with the question as to whether time flows. The standard use of the metaphor turns simply on the fact that arrows are effectively one-dimensional objects, with a clear orientation along this single dimension. But some arrows move (unlike, e.g., the ones on signposts), and this provides the trap that Coveney and Highfield fall into in saying that time 'travels like an arrow' (p. 24). Antiquity has given us a perfectly good metaphor for the flow of time, namely the stream or river. The arrow is best kept for simple directionality.

More seriously, the authors also fail to see an important distinction between the issues of directionality and determinism. This emerges early, when they misconstrue Einstein's remark that 'the distinction between past, present and future is an illusion.' They see this as arising from a 'belief in a deterministic world' (p. 30; cf. p. 64). In fact the remark is simply an allusion to the familiar notion of a 4-dimensional block universe, embodying no objective 'present moment' or flow of time. Such a view need not insist that the state of the universe at one time determines its state at other times.

In general, the issue of determinism is quite distinct from that of the directionality of time. A deterministic system may be asymmetric (e.g. in virtue of its boundary conditions) and an indeterministic system may be symmetric. So even if it is true (by no means clear, in my view) that the theory of chaotic evolution 'blows apart time-symmetric determinism' (p. 206; cf. pp. 37-8), what it leaves might well be time-symmetric indeterminism. This demolishes one of the main positive suggestions of the book. If chaos shows that the future is open, it also shows that the past is open. It doesn't yield an arrow of time.

Coveney and Highfield also suggest that the Brussels School's study of non-equilibrium systems provides a key to the resolution of the conflict between thermodynamics and mechanics. It does not. The real puzzle is why there is an arrow of time at all; i.e., why the universe is not simply in thermodynamic equilibrium at all times (except during the inevitable local fluctuations). The theory of non-equilibrium systems may tell us how non-equilibrium systems behave given that there are some; but it doesn't explain how they come to be so common in the first place (and all oriented in the same temporal direction). This is 'time's greatest mystery', and for all its merits, the theory of non-equilibrium systems doesn't touch it.

What would touch it would be a cosmological demonstration that the universe was bound to be in a low entropy state after the Big Bang. In their recent books Hawking and Penrose have each discussed proposals of this kind--approaches which at one point the present authors dismiss on the odd grounds that the cosmological theories concerned are 'less firmly established than the phenomena to be explained'. (p. 34) Goodbye theoretical conjecture! The cosmological approach is at present inconclusive, but the popular works of some of its advocates--Paul Davies, for example, as well as Hawking and Penrose--provide the best current lay guides to the search for the arrow of time. Davies--that living testimony to the universe's ability to create order at a prodigious rate--has also written a recent book on chaos and non-equilibrium systems (*The Cosmic Blueprint*, Simon and Schuster, 1988). To my mind it has the edge on the present work.

(以上の文章はいずれも抜粋である。)

ここに見られる主張は徹底して認識論的な発想に基づいている。アルキメデスの観点は認識論的な観点であり、物理学的な観点ではない。それは物理学を外から眺めている。その観点が新しい物理学の理論を生み出すことになるかもしれないが、それが即物理学の理論というのではない。それは物理学の理論を生み出す動機である。

アルキメデスの観点が物理学の内容を考えるのに適した観点かどうかは検討の余地がある。物

理的な世界を認識論的に考えるのに適した観点かどうかはアルキメデス的でない観点と比べた上で言えることである。では、非アルキメデス的観点とはどのような観点なのか。最初から時間の向きが世界にはある、あるいは因果的な世界という観点が非アルキメデス的観点の一つである。

非アルキメデス的観点は幅が広く、多くの観点が考えられる。ベルクソンはそのような観点の極端な代表者である。運動、変化についてどの程度考慮するかによって実に多くの非アルキメデス的観点が存在する。

非アルキメデス的観点の下で問題になるのは、アルキメデス的観点の場合と異なって、いかに時間の向きとは独立に理論が構成されるのかを説明することである。時間の向きが数学的に形式化できない理由を説明することである。

4 この Price の主張に対して次のように考えてみよう。

(1) 仮説としての時間の向きと不用意な想定としての時間の向き

時間に向きがあるかどうかは意味のある問いである。「人間は進化してきた」という主張は過去にどのように扱われてきただろうか。ダーウィンの進化論は上の命題を含意することから、したがって、そのような進化論は誤っている、あるいは進化論的に考察する際にこの命題だけ除外して考えるという態度をとってきただろうか。ある陣営の人たちは確かにそのような態度を現在でもとっている。人間が進化の産物であることは、しかし、場合によっては暗黙の了解として、また別の場合には当該の問題に対して無関係のこととして無視される場合も多い。私たちが言語や論理について考える際、人間の進化はまず考慮されない。人間を科学的に研究しようという場合であっても、人間の進化はいつも意識的に仮定されているわけではない。

このような暗黙の、場合によっては無視される仮定は実に多い。時間の向きもこのような例の一つである。私たちは日常の生活で時間に向きがあることを自明のものとして生活している。それはちょうど、人間がギリシャ時代の哲学者と同じかそれ以下だと考えて、進化など哲学する上では不必要であると考えているのと同じである。このような状況で、「時間に向きがあるか」、「人間は進化してきたか」といった問いはどのように扱われるべきなのか。

経験科学の典型的な姿は経験にはない。それは仮説を作り、それをどのように実証し、応用するかにある。科学はしきりに仮説をつくり、あくことなくそれを廃棄してきた。人は Price の意図と議論の展開を極めて哲学的であると感じるだろう。その理由は、彼が物理学者が時間の向きを物理学的に証明するためにこっそり時間の向きを忍び込ませて使っていることを見事に暴き出した点に哲学的な雰囲気をつかんだためだろう。この鋭い分析と仮説の設定はどのような関係になっているのか。次の単純化された図式を考えてみよう。

時間に向きがあると仮定してみる。これはあくまで仮定であり、他の物理学の理論と同じ仮定という位置を物理学の中に占めている。

時間の向きを仮定した上で、それを理論的に展開する。この展開で重要な役割を果たすのは因果性との関係と尺度としての時間(時計)である。

それら展開結果は科学の常套手段としての実験、観察によって確認される。この確認は慎重になされなければならない。ここに時間の向きがこっそり忍び込む可能性が極めて高いからである。というのも、私たちは時間の向きのある世界で生活していると暗黙のうちに想定して実験や観察を行っているからである。Price のいう二重基準はこの実験や観察の場面に登場する可能性が高い。(彼の場合はあくまで理論においてであった。)この部分については後でじっくり考えてみる。

さて、このような図式のもとで時間の向きがある程度確証されたとしてみよう。どのように見事な確証結果が得られても、それは相対的なもので、量子力学が絶対に正しいかどうかはわからないと同じ意味で、時間の向きも絶対的に存在するかどうかはわからない。とにかく、確証されたとした場合、私たちはそこから当然ながら、「時間に向きがあるか」という問いに対して肯定的に答えるということになる。うまく確証できない場合は事態は二つに分かれ、否定的な答えか、あるいはまだしばらく研究を続けてみるということになる。（この二つの場合は、数学の問題が解けないとき、自分の所為で解けないのかもともと解けないのかに対応している。）

さて、以上の常識的な科学的探求の図式にどこか誤りはあるだろうか。私にはどこにもおかしな点はないように見える。もしこのような観点で物理学的な時間の向きの研究を眺めるならば、Price が批判する諸例は物理学という経験科学の中のまっとうな振舞いとして理解できる。

対称性の崩壊は時間の向きと同じではない。崩壊の前と後を使って時間の前後を述べることは何の前提も無しに言えることではない。通常、そのように考えて何の支障も出ていないのは時間には向きがあるという私たちの視点がそこに前提として入っているからである。したがって、Prigogine and Stengers, Coveney and Highfield の主張に対しては、もし私たちの視点の導入が物理学的に説明できるならば、崩壊の前と後は時間の前後や経過を物理的に実現してくれている、物理的な証拠であるということができる。つまり、時間の向きを証明するものとしての対称性の崩壊ではなく、時間の向きの物理的な確証例として対称性の崩壊を考えることができる。

## （ 2 ） 対称性の否定は非対称性か

時間には向きがあるか、ないかのいずれかである。  
 向きがあるという前提の下に物理学を見ることができる。  
 向きがあるという前提の下で、それを具体的に証明しなければならない。  
 その証明は不可逆過程の物理学によって与えられる。  
 したがって、前提は具体的な証拠が与えられる。  
 それゆえ、前提を正しいものとみなすことができる。

時間には向きがあるか、ないかのいずれかである。  
 向きがないという前提の下に物理学を見ることができる。  
 向きがないという前提の下で、それを具体的に証明しなければならない。  
 その証明は不可逆過程の物理学の論点先取等によって与えられる。  
 したがって、前提は具体的な証拠が与えられる。  
 それゆえ、前提を正しいものとみなすことができる。

（この二つの推論は同じ構造に見えるが、微妙な違いがある。それは向きのない仮定は向きのある仮定の否定を示すことによって証明されており、向きのないことの可能性しか与えていないのである。前提の可能性の証明であって、前提そのものの証明ではない。否定形の証明は経験科学においてはその肯定形の矛盾を示すことによってしか証明できない。）

無論、この推論は完全ではない。しかし、時間を物理学の対象として経験的に考えていく場合に私たちが今まで扱ってきたスタイルと同じである。仮説設定の方法である。これは既に述べた。二番目の仮定はどのような意味かがここで考えることである。それは時間の向きの単なる否定なのか。「時間に向きがない」とはどのような積極的な内容をもっているだろうか。左と右、始まりと終わりは一見すると一方が他方の否定に見える。しかし、左の否定、始まりの否定は決して右や終わりではない。それら対は互いに他に依存しながらも、同等の地位をもち合っている。それと同じように時間の向きの有無を考えた場合、「時間に向きがある」と「時間に向きがない」は物理学的には同じように検証されなければならない、物理学的に同等の主張



なのである。したがって、上の推論にしたがうならば、向きがないという前提の下でも、それを具体的に証明しなければならない、ということになる。

向きがないという前提で、実際に向きがないことを確認することはできるだろうか。私には想像が困難である。経験的なレベルではほとんどの現象に向きがあるように見える。それどころか、私たちは因果的な世界観さえ容認している。だから、賢明な科学者は向きがあるという前提を採用するのである。

時間に向きがある、向きがないを視点の変更と考えるならば、多分 Dawkins が生物進化を語る際に個体や集団の現象を遺伝子という従来にない視点から語ったことに類比できるかもしれない。視点の変更はそれまで見えなかったものを見るようにしてくれる。地と図の逆転である。(視点の変更としての時間)

### (3) 形而上学的議論

時間や意識といった捉えがたく見える対象は次のような危険な論証を生み出しやすい。

私たちは時間(に向きがあること)を知っていない。  
それゆえ、私たちは時間(に向きがあること)を知ることができない。

この論証は誰がみても誤っている。論証としては誤っているが、経験的に正しいことがわかるかもしれない。しかし、これを論理的に証明することはできない。強調しておきたいのは、時間が捉えがたいものであることは論理的にも経験的にも証明されたわけではないことである。

この論証を一つの命題にまとめ、その対偶にあたるような論証を考えてみよう。それは次のような論証となる。

私たちは時間(の向き)について知ることができる。  
それゆえ、この仮説が正しいかどうか経験的に証拠を集め、時間(の向き)について知る。

これは仮説を作り、それを経験的に確認するという通常の科学的な方法を時間について述べたものに過ぎない。これは全く穏当な研究スタイルをそのまま述べたものである。これは経験科学がどのようにそのパラダイムを変えようと、それとは無関係に私たちが基本的と考えてきたことである。

しかし、これら二つの論証の意味を考えたとき、私たちに随分異なる印象を与える。前者の論証の演出効果は、極めて消極的である。時間に関する事柄は哲学的で非経験的な分析が必要であり、それが結果として私たちに時間の経験的な追求を阻止するように働く。一方、後者の論証の演出効果は、時間も他の対象と同じように経験科学の対象であり、私たちに経験的な時間の探求を促すように働く。この効果の違いに騙されないようにしなければならない。

(超越論的な分析と経験科学の実行の間に通常はあると考えられている根本的な溝は上述のどこにあるというのか。少なくとも、論理上はどこにもない。上の論証という例だけで考えを急ぐのは早計というものだが、時間が捉えがたいものであることを形而上学的に示すには、経験科学と同じ程の仮定と証拠が必要であることは明らかであろう。そして、経験科学が仮説的なものであるなら、超越論的な議論も同じように仮説的なものなのである。)

ここには科学と哲学の溝がある。あるいは、認識論の科学に対する位置が見えてくる。と言うような結論の出し方は哲学的かもしれないが、何か欠けている。それは時間の向きが主題になるときの私たちの取り組み方である。時間に向きがあるか。この問題を扱う場合、時間の向きを仮定してその証拠を集め、違反がない限りで時間に向きがあるとする姿勢は、科学が普通に採る姿勢であるが、どこか不十分な感じが否めない。論理的にはこれは論点先取である。だから、それは確認された命題ではなく、経験的に確からしい命題に止まらざるを得ない。時間の

向きの証明はどのような条件の下で可能なのか。この答えは Price にはない。なぜ、時間の向きの証明は物理学的に困難なのか。物理学で使う数学に注目してみよう。実はそこにすでに時間の向きが入り込んでいる、したがって、その証明は物理学がどのように数学を用いるかを調べてみなければならないことになる。

#### 4 持ち越された諸問題

時間に向きがある、向きがないという仮定はいずれもそれらを物理学的に証明することはできない。その意味で、二つとも私たちが物理現象を考える上での認識論的な仮定、あるいは物理現象に付与する存在論的な仮定である。他のそのような仮定との折り合いを考えた場合、いずれの仮定がしっくりいくのか。数学との折り合いという点では時間に向きがないという仮定のほうが折り合いがいい。自然世界が因果的であるという仮定のもとでは時間に向きがあるという仮定でなければならない。

等確率の仮定はどうか。これは出来事にかかわってくる。確率そのものよりは確率の適用が出来事であることに依存している。状態を基本にする数学の適用が確率の場合は出来事に手地要される。すると、出来事の集合のもつ因果的な構造がそこに現れてくる。

最終的に数学が対称的というのではなく、数学がどのような解釈のもとで適用されるかに依存していることがわかる。

##### (1) 時間の向きを経験的に検証できるか

もし時間の向きの検証が経験的にできないのであれば、仮説設定による物理学の方法は役に立たないということになる。これは科学の常套の方法が無意味であることを示している。この問題の解答を考える前に先例を見ておこう。それはあの有名な Kant の解決方法である。彼の解答は「時間を経験的に検証できない」というものだったと考えてよいだろう。時間の向きが彼の時間形式の中にどの程度明瞭に取り込まれていたかは私には定かでないが、彼が明示的に扱おうとすれば、明らかにそれは直観形式の一部であったはずである。それは先験的に定まっており、それを使って経験的に確認する必要のないものである。

Reichenbach のように時間の向きを基礎付けるのに因果性をもち出す場合はどうか。因果性が非対称性をもっているために時間の向きをそこから導き出せる。したがって、因果性が検証可能かどうかということになる。因果性は物理学がそこで対象を扱う枠組みのようなものであり、実験や観察もその枠組みの中でしか行えない。つまりは、時間の向きを因果的に考える限りやはり経験的に検証することはできない。

私たちは時間の向きを仮定した。この仮定のもとに時間の向きを物理的に表現する物理量や現象がある。(エントロピーはその代表例、波の拡散でもよい。)ある孤立系について二回測定する。(それには、例えば、エントロピー計を使う。)それぞれ1回目、2回目の名札をつけておく。いずれか値の大きいほうが2回目ならば、仮定はこの測定によって部分的に確認されたと言ってもよい。(本当にエントロピーの測定ができるかどうか。エントロピーの定義はどの本にも載っているが、エントロピー計はそうではない。詳しく知りたい向きには、*The Second Law*, P. W. Atkins, Freeman, 1984, 邦訳『エントロピーと秩序』米沢、森訳、日経サイエンス社、1992, pp. 47-50 ここで私たちが問題にしているのはエントロピーの測定ではなく、それが時間の向きを示すのに信頼できるものであるかどうかである。)

但し、明らかかなようにこの確認はいつまでたっても部分的なままである。しかし、このような確認の形式は何かを見落としているように思えてならない。上の実験に本当に時間の向きは忍び込んでいないのであろうか。1回目、2回目は順番であり、それは向きとは関係ない、単なる名札である。いずれが時間的に最初で、いずれが時間的に後かは考えられていない。

実験における行為、あるいは出来事としての実験を考えてみよう。これは物理的な出来事であり、時間の向きが仮定された物理世界の中にある。したがって、実験は立派に時間の向きをもっている。それゆえ、時間の向きから独立に実験を組むことは論理的にできない。この強烈な一撃に対してどのように対処できるのか。時間の向きを理論的に仮定することは、それを経験的に確認することを不可能にするというのがこの一撃の主張である。

対処の一つは対象にしている系についてだけ仮定を認め、実験系全体に対しては時間の向きを仮定しないというものであろう。これは確認の範囲を更に狭めることになる。では、この常識的な方法には問題がないのだろうか。

2回目が値が高く、1回目は値が低い場合、事は無事進行するよう見える。逆の値の場合、どうなるのか。その場合、この実験は確認に失敗するか、あるいは実験そのものに不備があったかのいずれかである。上述の如く、そのはずである。しかし、実験者は時間の向きに対して感受性がないのであるから、時間の向きは2回目から1回目へと進んだと判定することになる。これは明らかに実験計画に合わない。どのような実験結果が出ても実験者はそれをそのまま受け入れなければならない。

あるいは、逆に対象にしている系については時間の向きを認めず、実験系全体については時間の向きを認める場合はどうか。

これは論理的にできない仮定である。実験系は対象系を含むから、実験系の時間の向きは対象系についても成立する。

今までのかなり杜撰な思考実験から決定的な結論を得るのは危険であることを承知の上で、あえて次のように言うことができるのではないか。

時間の向きについての Price の認識論的な議論をより物理学的に扱おうとすると、時間の向きの仮定のもとにそれを実験的に確認するという手段が考えられる。しかし、その実験を時間の向きの仮定から独立に実行することはできない。少なくとも、私たちの思考実験ではできない。これは時間の向きに関して経験的に確認できないということを意味している。これは先ほどの論理的な一撃と同じ程度に衝撃的な一撃である。

この証明に対する反論とそこからの考察

#### (1) 相空間と実験

相空間は状態の集まりであり、その状態の変化はアルキメデス的な観点からは二つの方向に同等に存在している。つまり、相空間には時間の向きはないと仮定することと同じである。初期条件と境界条件をはじめとして、観測しようとする系のある状態はその観測の時点で定まる。その観測よりは後に別の観測をして別の状態を定める。そして、二つの観測の状態を比較する。この比較から二つの変化の方向のうちの一つが定まる。これはどのような系の、どのような観測に対しても同じように実行できる。したがって、それら観測の順序に従って系は時間の方向をもつ。もし系の時間の方向が観測によってまちまちになるような場合があったとすると、これは系に時間の方向がないことになる。しかし、そうなると熱力学に第二法則に違反することになり、方向は観測毎にまちまちになることはない。

#### (2) 無限背進

系が存在論 1 に従い、観測者が存在論 2 に従うなら両者の合成系はそれを観測する対象とみる限り、存在論 1 に従う。その合成系を観測する観測者はやはり存在論 2 に従い、このような系列が無限に考えられる。これは哲学ではどこでも見られる事柄である。この系列は時間の向きに対して、その系列の定義に応じて、いくつかの特徴的な振舞いをする。しかし徐々に観測者の時間の向きに支配されるように系列を考えることができる。

では、時を測り、歴史を大切にしてきた私たちの試みは何だったのか。時間に向きがあるという仮定のもとに、その仮定がどのような具体的な物理過程として描けるか、これは十分に意義のある物理学的な研究である。熱力学は平衡状態の分析から始まり、平衡状態に近い非平衡状態の理論化、そしてまったくの非平衡状態の研究へと進んだ。これは決して無意味ではない。ただ、時間に向きがあるかという問いに対しては実験的な確証という形では十分に答えることができない。

### (2) 視点の変更と時間

視点の変更はアルキメデス的な視点だけではなく、もっと自由にさまざま考えることができる。要はどのような視点が時間の研究にとって有意義であるかである。Price は禁欲的に視点を扱ったが、特定の時点を任意に決め、そこからすべてを眺めることもできる。特定の時点が現在の場合には Actualism の主張が展開できる。

もし視点の変更が認識論的に自由にできるならば、因果と目的はもっと密接に絡み合ったものとして考えることができる。宇宙論原理が無時間的であり、ビッグバン理論が因果的であるなら、そこに人間原理を導入することは物理的な宇宙論の認識論にとって均衡の取れた思考を可能にしてくれる。宇宙の歴史は方向性があるとしても、それを考える際に宇宙にある時間の向きに拘束されずに考える基盤を提供してくれる。

### (3) 数学の中の時間の向き

プラトンの世界といわれる数学の世界は僅かに視点を変えることによって極めて時間的になると思われる。普通、プラトンの存在としての数学的世界には時間はないと考えられているし、だからこそ、どのような場合にも数学的な真理は通用するとみなされている。このプラトンの見方に対抗して考えられた直観主義的な数学観は数学的世界の心的な構成に基礎を置いている。この心的な構成は現象的である。それは構成の順序に従うような数学的な対象で形成されている。構成の過程では構成の順序は極端に重要で、蔑ろには決してできないものであるが、いったん構成されてしまうと、構成の順序は証明された命題の内容とは関係がない。直観主義の重要な貢献は証明の手続きとその成功は分離できないが、証明の手続きとその内容は関係ないことを明らかにした点にある。これは変わった見方かもしれないが、心的な構成は証明の手続きであって、証明される命題の意味論には係わっていない。現象論が内容と係わらないことの数学での証拠である。

数学の現象論は徹底して時間的、あるいは順序的である。重要なのはプラトンの世界といった時に私たちが念頭に置くのはこの現象論的な手続きの世界ではなく、命題内容の世界なのである。この世界に数学的な真理があり、その真理は現象論からは独立しているのである。この区別は数学の場合、実に見事に現れている。数学を自然化するのが困難なのは、この区別を乗り越える、あるいはできるだけ解消するということが困難であることにひとえに依っている。

しかし、今世紀のメタ数学の進展はこの現象論と内容を解消させるという結果を導くような効果をもっていた。それは実際、現象論の数学化であった。独立していた内容を現象論の手続きで遠隔的に扱おうとするものであった。コンピュータは指令に従うだけで、その内容を理解していないという Searle の批判は数学の場合には成立しない。内容はそれを得る手続きを完全に構成すれば、その手続きで置き換えることができるのである。これは少々無理のある結論であるが、それに近いことは言える。これがどのような条件のもとで、どのような内容に対して言えるかは吟味が必要である。

命題の計算可能性とその内容はどのような関係になっているのか。この問いに対してまず考えられるのは、「内容」とはどのような意味かであろう。これが実に漠然としている。それが解消されない限り、この問いに答えることはできない。「意味」と「内容」も明らかに異なる側面をもっている。意味は構成的だが、内容はそうではないと言う人が必ずいる。もし内容が全体論的なものであるなら、メタ数学の把握できる内容はひどく限定されたものになるだろう。

このように考えてくると、メタ数学の成果はある程度現象論と内容の間を埋めてくれたが、やはりそこには深い溝が存在すると結論しなければならない。数学の存在論と現象論の間にはメタ数学が介在するが、それでも現象論と存在論は独立の基盤をもっている。

さて、数学での現象論は物理学ではどのようにその姿を変えるのか。存在論ははっきり変わる。数学的な存在は物理学的に解釈され、物理世界の記述の言語に変わる。存在論は明らかに変貌する。では、現象論はどうか。現象論は手続きであり、対象の処理の仕方である。感覚・知覚はその処理の典型であるし、推論の仕方も然りである。知覚が個別的であると言うのは知覚の内容についてではない。知覚内容は一般的ななのである。それは推論や証明の内容が一般的なのと同じ意味で一般的ななのである。話がそれてしまったが、現象論は変わらない。

現象論が時間の方向をもち、しかし、現象論と存在論の二つが数学を表現するように、物理学においても現象論と存在論の総合が物理的な自然を描くのであれば、時間の向きは存在論からではなく、現象論から導き出される。現象論から導き出される時間の向きは実際に物理学の現象を扱う計算の進行方向である。手続きの順番である。

現象論と存在論を近づけるというメタ数学の試みがどのくらい達成できたのかはわからない。しかし、その試みが経験科学にどのような影を落としているかはもっと考えなければならない。コンピュータの計算のその内容が当面の問題であるし、それは心の哲学とも密接に結びついている。

内容に関して話している限り、物理的な時間の向きはない。現象に関して話すならば、そこには厳然と時間の向きがある。これはメタ数学が取り残した問題をデフォルメした形で表したものである。

経験的な手続きがどの程度その内容に影響を及ぼすのか、そしてこの影響は時間の向きにも影響を及ぼすのか、これがまさに求められている問題ということになる。

(後戻り因果の可能性)

物理学の理論は時間の向きに関して対称的であると認めよう。すると、時間の向きがあるという考えは私たちの独断的な思い込みと言うことになる。思い込みであるから、そのように思い込んだ世界、つまりは常識的な世界では未来の出来事が現在や過去の出来事の原因になるといった、日常世界ではありえないことがあっても物理的にはおかしいことではない。これが彼の主張である。時間の向きは因果性に具体的に現れている。因果的な日常世界で想定されている因果性を通じての時間非対称性は実は物理世界では存在論的なものではない。実際、ミクロな世界での因果性など私たちは経験できない。このように考えてくると、私たちは大いなる疑問と不満に満たされることになる。というのも、私たちは直観的に時間には向きがあると思っているし、思うだけでなく、そのように考えないと生活できない世界に住んでいる。輪廻という思想でさえ、時間の向きを除いたのではそれを理解することさえできない。円環的な時間であっても時間の進行の向きは必要なのである。私たちの時間の向きについての直観はどこにいつてしまうのか。それは物理的な世界では全く意味をもっていないのであろうか。時間の向きは意味をもっていないどころか、それなくしては私たちの生活は成立しない。この大いなるギャップはそれを闇雲に埋めようという前に、どのように考えておいたらよいのか。

世界を時間も含めて鳥瞰すること、そして鳥瞰し尽くすこと、これが4次元空間の意味である。それはあらゆる方向に開かれている。それを設定した私たちと、その空間内に存在する私たちは同一でありながらも、明らかに二つの異なるものに引き裂かれている。

現象論あるいは存在論2の世界  
西脇 与作

Huw Price と正反対の観点から議論してみるとどのような主張が展開できるか、これがここでの目的である。

現象は立ち現れ、消え去っていく。過去、現在、未来は並列できず、世界は時間的に展開して行く。事象は本質的に時間的である。

力学的世界観とダーウィンの世界観（宇宙論も含む）  
集団遺伝学モデルと適応主義的説明  
（統計力学的モデルと確率過程）  
プラトン、アルキメデスの世界と、そうでない世界  
理論とシミュレーション  
時間の向き、あるいは時制と非時制  
二つの「ならば」  
確率の解釈  
「ある」と「なる」  
知覚経験とその内容

これらはいずれも二つの基本的に異なる世界観の具体的な例となっている。ここでの世界観は存在論の側面と認識論の側面の両方をもっている。それらの諸相を明らかにするのが第一部である。

第二部は二つの存在論がどのような関係になっているかを明らかにすることであり、二つが異なるということよりは、そして二つが付随的な関係になっていることを示すよりはそれらが混合して使われる場合の混乱をどのように防ぐか、そしてそのような予防の一般的な方法があるかどうかである。

（第一部）

1 はじめに

一様で均質、等方向という世界と混沌とした世界、物理学化された世界と生のように見える世界、見えている世界とその背後の世界、状態と出来事

2 力学的な世界とダーウィンの世界

力学モデルが押し並べて前提するものが力学的世界観の基本である。数学的な世界にどのように因果的なものを持ち込むかがモデルをつくる際に重要になる。

いずれもつぎはぎモデルである。局所的モデルと大域的モデル、状態モデルと出来事モデル

3 二つの「ならば」

世界で起こる変化の側面をどのようにモデルにとりいれるか。そのトリックは「ならば」の両義性にある。含意関係と因果関係はいずれも「ならば」で表現される。一方が他方の実現過程であるという考えでまとめることができる。

4 確率的なモデルと状態モデル

（集団遺伝学モデルと適応主義モデル、統計力学モデルと確率過程モデル）

どのように状態は出来事にさせられるか。ここに二つの世界観の衝突がある。しかし、この衝突は衝突とさえ見なされていない。ここに問題がある。測度としての確率は出来事としての確率に何の障害もなく解釈できるのか。

## 5 時制の存在論

時制は物理学にあるか。ここでも私たちは無時制の物理モデルを時間的に解釈している。時間の向きがここでは隠れて使われている。それが私たちの経験に合致するからである。

## 6 folk psychological world

理論かシミュレーションという論争、ゲームと理論、

## 7 まとめ

(第二部)

- 1 はじめに
- 2 確率と時間
- 3 付随性
- 4 二つの関係
- 5 混同を防ぐ基準

### 確率の場合

有限の場合は混同は生じない。原理的な混同が理論上は隠れたままである。したがって、集団遺伝学の有限モデルは混乱から免れている。しかし、逆に浮動という問題が生じる。ここで二つの世界観が衝突することになる。帰納の正当化ができないというミルの主張と同じように、未来の出来事に関して無知の立場からは浮動は生物学的な事実として存在していることになる。一方、存在論1の立場では、浮動は私たちの無知に過ぎない。位相空間モデルの出発点ではその存在論は1である。そこに確率空間が導入されると、大抵はそれは出来事モデルとして解釈されるので、存在論2が導入される。そこで、1と2のいずれかで考えることになり、選択の余地が出てくる。

### 時間の方向の場合

これは確率の場合の特殊ケースと考えることもできる。ただし、この確率は出来事の確率と解釈された場合に限る。

### 観測の場合

観測は出来事であるが、それを状態で解釈するか、状態とは別のものと解釈するかで量子力学の観測問題のある局面が理解できる。状態は線形結合であるが、出来事は線形結合ではない。波束の収縮は出来事であり、ある線形結合の状態からそうでない状態への変化であるが、その変化は記述できない。

二つの世界観が重なり合い、互いに矛盾しないのは過去に関する解釈である。「起こった」事と「状態だった」は同じである。また、未来についてももし「起こるだろう」と「状態になるだろう」を同じであると考えれば、二つの違いは現在の理解の仕方に集約されることになる。これが端的に「ある」と「なる」の違いであろう。

過去について詳しく見てみよう。過去の出来事は過去の状態と区別して私たちは考えているだろうか。考えてはいない。と言うより、過去の状態は出来事であったのかそうでなかったのか、現在の私たちには判然としない場合が多い。出来事は点的な状態という常識は過去の出来事を状態の一部に還元してしまう。過去は線的な状態の連続体として存在しているという考えがそこから出てくる。この慣習はそのまま未来にも持ち越される。未来の状態の一部として未来の出来事は把握され、そのような未来の状態の連続体が存在するであろうという考えになっている。したがって、過去と未来については存在論1に吸収される形で存在論2は処理されている

と言ってもよい。(言語表現による分析をこれに付け加えることもできる。)

もしこのような常識的な理解を信用するならば、現在の理解の仕方それら過去や未来の理解の仕方と歩調を合わせるのが合理的であろう。現在だけ存在論2を使い、他は存在論1で考えるよりは、統一的に存在論1で済ますというのが得策であるし、実際そのような策を取っているのが正統派の考えである。現在を特権的に眺めない姿勢がそこにはある。

そもそも二つ以上の出来事について考える際に私たちはそれらを同じ地平に置いて考えるということをする。これが存在論1の始まりである。現在の出来事は過去や未来の出来事と併置されることで初めて考えることができる。

では、存在論2の存在理由は何なのか。存在論2が現象論であると言われるのは、それが私たちの経験の実際の有様をそのまま表しているからである。現われ、消えて行く出来事として世界を経験している私たちの経験の仕方をそのまま表している。その代表的な比喩が流れである。流れていく水を見ているように経験していくという比喩である。

確率論そのものが出来事に全く合ったものではないこと。集合を使った形式化がもつ制限があること。

個体が行動するような条件の下ではその個体の生存条件から存在論1ではなく、存在論2を使わざるを得ないことが導き出される。この条件を見事に示すことが以下の課題である。

情報の入出力とその処理の物理学は存在論1の実現過程としての存在論2の重要性を明らかにしてくれる。存在論1はその実現のために存在論2を必要とするのである。

これは古典数学と直観主義数学の関係に似ていなくもない。

個体と系の複合形はどのような時間構造をもつのか。また、どのような確率解釈を取るのか。答えは自ずと明らかであろう。時間には向きがあるし、浮動は存在する。

実現過程に未来はない。そこにあるのは過去と現在である。実現の手順は因果的な順序を要求する。

実現とは完全にはできず、検証や確証という部分的なものがそれを示している。

確率モデルは全体のなかのある部分の比率であり、それは頻度論となじむものであるが、これを例えば、出来事の順序を添字に入れてやってモデルをつくるということはできる。出来事の生起を表示するこの方法は、数学的には無用なものである。

実現されるものだけで作られるモデルは生起の選択が含まれない。あれかこれかという可能性はそこには含まれていない。したがって、出来事の起こる順序がそのまま時間の向きということになる。

空間平均と時間平均は一定の条件の下では同じものと見ることができる。しかし、個別の出来事に対する確率は、例えば頻度とは明らかに同一視することはできない。

ブラックボックスモデルが存在論1のモデルとすれば、そのボックス内の出来事は時間的に区別がなく、単に存在しているに過ぎない。あるいは存在するであろうに過ぎない。一方、添字付きの方は順序がある。それは時間的な順序と解釈でき、数学的には同じ数値を与えてくれる。これを構成的なモデルと呼ぶこともできる。存在論2は構成的な存在論である。



構成性と現在までを考慮するという二つの原則の組み合わせが、遺伝的浮動を確率的なものにしてくれる。実際の集団を見ている観察者にとっての存在論である。

検証は頻度論に頼るから、検証結果は浮動が無知に基づくものかそうでない客観的なものか何も言ってくれない。

ダーウィンの世界観が浮動が客観的に存在することを示してくれるには、その世界観がニュートンのでないことをまず示さなければならない。流れる、展開するという表現に対応するものがダーウィンの世界観には不可欠であることが示されればよい。

任意交配が出来事として考えられるモデルはどのような条件をもっているか。量子力学で使われるような確率概念がない場合の確率は経験的には比率になってしまうのか。

#### 存在論 2 が不可能であることの証明

私たちは今まで存在論 2 を仮定して議論してきたが、果たして存在論 2 は可能なのか。存在論としては原理的に不可能なのではないか。というのも存在論は存在の仕方の一般論であって、そこに変化は微塵も含まれてはいない。したがって、変化を表す仕方は存在論の違いによってではなく、存在論の適用の仕方によって表されるのではないか。理論が解釈を必要とするように、存在論も解釈されなくては世界に適用できない。おそらくこの適用の仕方が認識論と呼ばれてきたのであろう。適用は私たちが適用するのであり、存在論の適用とは私たちが世界を認識することによってなされる。適用という点に焦点を絞るなら、その認識論は認識の構造ではなく、認識の過程、認識の手順を述べるものとなろう。その過程、手順の基本は認識も因果的であるということである。認識内容ではなく、認識の実現は因果的に遂行される。この因果性が時間の方向性をもつことは、因果性の非対称性から出てくる。認識の実現の前後は因果的であり、それはほとんど実験や観察の前後と同一視できる。

#### 歴史的な一回性

これは存在論からは出てこないもので、存在論の適用まで考慮したところで始めて登場する。記録としての適用は必ず順序を含む。それは添字付きの適用であり、前後をもっている。そして、一回限りという存在論にはない要素が登場できる。無論、無制限に一回限りが主張できるのではなく、その一回限りは局所的なものであり、全体は樹の枝のようになっている半順序として特徴づけられる。

ある出来事が確率的であることはマクロな世界では成立しない。平均が集団のすべてのメンバーがわからないことには意味を成さないように、確率は集団の性質である。私たちが知覚できる対象の性質ではない。

現象論あるいは存在論 2 は科学理論や存在論 1 とは異なりそれらの実現の仕方に関するものである。

より広い意味での構成的部分がこれに対応する。構成可能性は証明の構成可能性であるが、これは経験の因果的な実現可能性である。

一回限りの出来事に確率を適用できないように、時間の方向も適用できない。統計的な集団内の出来事は因果的ではない。

一回限りの出来事に感じる確率的な雰囲気は心理的なものに過ぎない。それは無知でもなければ、客観的でもない。系と観察者の複合系を考えた場合、系の集団としての確率的な性質はその観察者にとって観察している個別の出来事の性質として読み込んでしまう観察者の特性であ

る。

#### 内在的な性質と付随的な性質

内在的な性質は因果的であるが、付随的な性質は因果的ではない。ただし、ここで言う因果的とは個別的な出来事間だけの関係である。付随的な性質は因果性とは独立のものである。

同じように時間の向きも可能な経路の集合に付随する性質である。

付随的な性質を内在的な性質と見なしてしまうという私たちの経験の傾向が時間の向きや偶然性を生み出している。

個別的な出来事を順次経験していくという私たちの経験の形式が私たちの知識の形式とずれ、知識の真空状態が私たちを混乱させるのである。しばらく待てばよい。

因果的な出来事の生起と同じレベルで時間の向きや確率を考えることはできない。因果的な個別の出来事を見ているだけではどこにもない性質、それが時間の向きや確率である。

浮動に見られる非決定性は力学的な決定論とは無関係であり、その否定形としての非決定性ではない。

波束の収縮と逆の過程を想定してみよう。この逆の過程が浮動に見られる過程に似ている。実際に観察されるのは個別の出来事であり、その理論的な解釈は確率的である。この順序はそのままでもよい。とにかく、理論的には確率的な値であり、観察されるのは個別的な出来事である。

#### 時間の向きと因果性

彼の主張である時間の向きの2方向性を認めた時、どのようにそれは因果性概念と折り合いがつくのか。また、彼の主張である因果性に関する agency theory とそこからの因果性第二性質論は妥当であろうか。更に、存在論の違いは因果性にどのような違いをもたらすのか。

##### (1) 向きの共在と因果性

時間の向きは出来事の系列である、あるいは状態の経緯であるから（ここでは出来事と状態の区別を無視する）、同じ系列がその進行に二通り考えられるということに単純化できる。これがトランプモデルであった。後戻り因果がこのような状況で存在するためには系列の二通りの存在がともにいつでも利用可能でなければならない。ここでの存在論は徹底して存在論1であるから、現象が起こるに応じて系列が次第につくられていくという考えではない。向きが共在しており、かつ私たちがもつ因果的な視点が向きとずれた時に後戻り因果といったものが生じるということである。ここではいくつかのことが前提されている。

二つの時間の向きの共在  
第二性質としての因果性

1 ミクロな世界に時間の向きが存在しなくとも、それを含むマクロな世界に時間の向きがあれば、ミクロな世界はそのマクロな世界の時間の向きに従わなければならない。

2 ミクロな世界の時間の向きはマクロな世界のそれとは独立に与えられなければならない。

もしミクロな世界で時間の向きが与えられないのであれば、そしてマクロな世界にはそれがあるのであれば、時間の向きは emergent property となる。

時間の構造が理論が扱う対象が複雑になるに連れ生じるものであるとすれば、時間自体複雑な構造をもっていることになる。

### 出来事と状態：再訪

この二つの概念は懸案のものである。ここではこの二つの概念を何とか物理学的に納得できるように考えてみよう。

相空間の基本は状態である。

基本的な出来事は命題で表現され、その数は可付番である。この基本的な出来事から作られる確率空間は連続無限である。

状態の数は連続無限であり、基本的出来事の数のほうが少ない。

Coveney, P. and Highfield, R. (1990) *The Arrow of Time*, London: W. H. Allen.

Dass, T. and Joglekar, Y. (1998) “Augmented Temporal Logic Formalism for Histories-Based Generalized Quantum Mechanics,” *Journal of Mathematical Physics*, 39, No. 2, 704-738.

Monk, N. A. M. (1997) “Conceptions of Space-Time: Problems and Possible Solutions,” *Stud. Hist. Mod. Phys.*, 28, No. 1, 1-34.

Penrose, R. (1989) *The Emperor's New Mind*, Oxford: Oxford University Press.

Price, H. (1996) *Time's Arrow and Archimedes' Point*, New York: Oxford University Press.

Prigogine, I. and Stengers, I. (1985) *Order Out of Chaos: Man's New Dialogue with Nature*, London: Flamingo.

### 改訂版付録

#### プラトンの世界からのアルキメデスの世界の直観的構成

##### 1 はじめに

物理学が難しいという印象を与えるのは数学を使うことにその一因がある。なぜ数学を使わなければならないかの第一義的な理由は運動の再構成にある。これには解析学が不可欠である。さらにその解析学が具体的に展開できる場としての幾何学が必要である。そのため、結果として物理学は難しいという印象を与える。運動の構成はその数学的な装置を使えば複雑に見えるが、実はそれほど工夫されたものではなく、素朴に再構成されたものである。ここではこの素朴な再構成がどのようなものかを簡単な思考実験で示し、その後で難しい印象を醸し出している数学用語を用いた再構成の話に進んでみよう。まずはトランプモデルを考え、それをもとに物理学での構成を理解する。次にその構成を時間の向きの導入を軸に形而上学的に検討することにする。

##### 2 二種類のトランプモデル

これから述べるモデルはプラトンの世界からどのようにしてアルキメデスの世界が作り出されるかを直観的に示すためのものである。細部にわたって正確に構成を再現するものではないが、このモデルを基本に考えれば実際と大きくかけ離れない内容が理解できるだろう。

(用意する材料)

## トランプカード二組

### (構成)

トランプカードを一組選び、その中からスペードのカードだけ13枚抜き取る。(スペードでなく、ハートでも何でも構わない。要は同じ模様のカードだけを選び出すことである。)選ばれた13枚には1から13までの数字が書かれているので、その数字の中から任意に1枚抜き取る。これが以下の操作の出発点となる。例えば、3のカードが無作為に抜き取られたとしよう。以後の操作は次の規則に従うものとする。

### <規則 A>

- (1) 与えられたカードの数字を見て、その数字に最も近い数字のカードを探す。(ただし、13に最も近いのは12と1とする。)
- (2) 最も近い数字のカードが一枚だけなら、そのカードを与えられたカードの右側に並べる。
- (3) 最も近いカードが二枚以上あるなら、無作為に一枚選ぶ。そして、それを与えられたカードの右側に並べる。
- (4) 右側に並べられたカードに対して、(1)と、(2)あるいは(3)の操作を条件に合う手許のカードがなくなるまで続ける。

さて、スペードの13枚のカードについて、3のカードから出発した場合、どのような数字をもったカードの系列ができあがるだろうか。

3、4、5、6、7、8、9、10、11、12、13、1、2

3、2、1、13、12、11、10、9、8、7、6、5、4

上の二つの系列が答えである。これ以外にはない。

次にスペードだけではなく、トランプ全体について考えてみよう。規則は同じものを使う。今度は(3)の無作為の抽出がカードを選ぶごとに行われなければならない。(規則(2)は実際には使わないことになる。)それが複雑さを増すことになる。スペードの3から始めよう。もしカードの種類をあえて無視するなら、できあがる系列の数字の並びは何と上の二種類の系列と同じになるはずである。カードの種類を考えると、

3、4(スペード)、.....、

3、4(ダイヤ)、.....、

3、4(ハート)、.....、

3、4(クラブ)、.....、

となるので、上の二つの系列それぞれについて、 $4^{12}$ 通りの系列がつくられることになる。手許には条件に合わないカードが残るが、スペードだけの場合と同じように並ぶ数字の列は2種類である。

さて、今までは3のカードから出発することだけを考えたが、他の数字の場合はどうなるか。出発の数字が異なるだけで、規則は同じように適用できる。例えば、7、8、9、.....、あるいは、7、6、5、.....、が得られる。

$4^{12}$ 種類もの系列がつくられる規則というのは規則としては感心できない。そこで、的確な系列が得られるように規則をさらに厳格にできないだろうか。<規則 A>を厳格にしたのが次の規則である。この規則はもっぱらトランプ全体に対して適用される。

### <規則 B>

- (1) 与えられたカードの数字を見て、その数字に最も近い数字のカードを探す。(ただし、13に最も近いのは12と1とする。)
- (2) 最も近い数字のカードが一枚だけなら、そのカードを与えられたカードの右側に並べる。  
( \*カード全体ならこの規則の適用は実際にはない。 )
- (3) 最も近いカードが二枚以上あるなら、数字以外の条件を探し、その条件のもとで最も近いカードを選ぶ。ただし、一度選ばれた数字の異なる種類のカードは選ばない。どの

ような条件に対しても、それらを満たすカードが二枚以上あるなら、無作為に一枚選ぶ。そして、それを与えられたカードの右側に並べる。

( \*カードの場合、数字以外の有力な条件は種類である。最も近い数字と同じ種類の二つの条件で一枚カードが決定する。 )

( 4 ) 右側に並べられたカードに対して、( 1 ) と、( 2 ) あるいは( 3 ) の操作を条件に合う手許のカードがなくなるまで続ける。

ではこの規則のもとでトランプ全体の系列づくりはどうなるだろうか。今度はトランプ全体であっても、スペードー種類の場合と同じように、

3、4、5、6、7、8、9、10、11、12、13、1、2

3、2、1、13、12、11、10、9、8、7、6、5、4

の二種類の系列が定まる。( 両系列とも最初の3のカードの種類と同じ種類のカードが並ぶことになる。 )

<規則 A> は系列上の数字が連続するように求めており、<規則 B> は系列をつくるカードができれば1枚選ばれることを求めている。これらをそれぞれ、連続性の規則、線形性の規則と呼ぶことができる。どうしても1枚選出できない場合、それは非線形性の規則となる。( 非線形性の場合も連続性は成立することに注意。 )

ここで、

3、4、5、6、7、8、9、10、11、12、13、1、2

3、2、1、13、12、11、10、9、8、7、6、5、4

のいずれかを優先的に選び出すことができるかという問題を考えてみよう。そのような条件はいくらでも考えられる。例えば、最初に選んだ3より大きな数字のカードで最も近いものを選ぶという条件である。( 13が最初の場合にはさらに条件を加えなければならない。 )しかし、それら条件は上述の規則の条件に比べると *ad hoc* なものである。少なくとも、連続性や線形性のように数の本来の性質から導き出されるものではない。このことを数学的に特徴づけるよりは次の直観的な理由で理解しよう。

目の前にある線分をみて、それと同じものをノートに写す際、左から線を引くことも、右から線を引くこともでき、しかもできあがりは同じである。いずれの場合も私たちは連続的に線を引く(連続性)。途中でどこに向かうかの選択を迫られることもない(線形性)。しかし、右と左のいずれから線を引くべきかという条件は、付け加えることはできるが、それで得られるものは何もない。なぜなら、引かれた線はどちらから引こうと同じ線になるからである。そのような条件は線分を引き写すには単に余計なのである。

この簡単なモデルのカードのそれぞれをプラトンの世界、構成される系列をアルキメデスの世界と考えよう。各カードは変化のない対象であり、そこから運動や変化をどのように構成するかが上のモデルでは系列の構成によって表現されている。

次のトランプモデルも考えよう。スペードのカードが13枚並んだ長い系列  $S$  から適当に一枚選び出す、あるいは一枚を切片として切り取る操作がトランプモデルになる。これはおおよそ以前のモデルの逆操作である。今度は操作そのものに番号がついている。それらを  $O_1, O_2, \dots, O_3, \dots$  としよう。例えば、次のようなものが選び出される。

3、4、8、2、.....、6

この選び出しは  $O_1(S) = 3$ 、 $O_2(S) = 8$ 、.....、 $O_{13}(S) = 6$  となっている。ここで操作子  $O_n$  についての規則は次のようになっているとする。

<規則 C>

( 1 )  $O_1$  は系列  $S$  から任意に一枚選び出す。

- (2)  $O_n$  は  $O_{n-1}$  のカードに最も近い、系列中のカードを一枚を選ぶ。  
 (3)  $S$  からのカードがなくなるまで続ける。

この規則は以前の規則によく似ている。すぐに分かるのは、手続きは異なっても以前の操作と同じ結果が得られることである。つまり、系列  $S$  は同一のままであっても、つくられるのは、 $S$  そのものか  $S$  の系列とは逆に数字が並んだ系列である。この規則にも連続性や線形性が  $O_n$  という操作の特徴として顔を出している。

トランプ全体が並んだ系列から一枚選び出す操作も前と同じように考えることができる。トランプ1枚から系列をつくる場合も、系列から1枚を切片として切り出す場合も、結果は同じように二つの同等の系列が得られることになる。トランプ全体の系列からの選び出しの <規則 D> (規則 B に対応する規則) は <規則 C> と同じである。

これらの簡単なモデルは実状を反映していない。実際は連続無限個のプラトンの世界が重ね合わされなければ物理世界の扱いに適したアルキメデスの世界にはならない。また、無限の切片がもとのアルキメデスの世界から切り取ることができなければならない。私たちのモデルでは13回の重ね合わせや切り取りに過ぎない。このモデルを無限回の操作に適合させることは可能である。その拡張の際に出てくる重要な特徴を見過ごしてはならない。それは、出来事と状態の区別が連続無限回の重ね合わせや切り取りでは曖昧にならざるをえないということである。有限や可付番であれば、ある数に最も近い数は具体的に見出すことができる。複数個であっても、とにかく見出すことができる。しかし、連続無限の場合はそれができない。そのような数が存在することは証明できるが、それを具体的に見出すことはできない。存在はするが、生起させることはできない。具体的な数を取り出すためにはその数を知っていなければならない。一回の操作でこれを行おうとすれば無理である。存在するものを的確に取り出す、切り取るためには工夫が必要である。その工夫は適当に近い数を取り出し、もしそれより近い数が途中で  $k, k+1$ ;  $l$ ; 見つかったら、その時点で挿入する、挿入せずに系列が規則通りならば取り残しや切り取り残しがあっても気にせず無視するという不完全な工夫である。

ここでそれぞれの規則の特徴を見てみよう。つくられていく系列が世界であるとする、<規則 A>、<規則 B> は世界を変化していくもの、生み出されていくものとして捉えているが、<規則 C> は世界が変化のない世界線、状態が変化するのはなく私たちの操作が変化するものとして捉えている。したがって、つくられるアルキメデスの世界はまさに変化していく、展開していく世界であるというイメージと、それが既にすべて展開されておりその中から断片を拾ってつくられるのがアルキメデスの世界であるというイメージの違いとして対比できる。このような二つの相反する捉え方は昔から存在する。量子力学での Schrödinger picture と Heisenberg picture は近年の代表例である。あるいは、変換に関する Active interpretation と Passive interpretation も類似の例である。もっと一般化して考えるならば、歴史という概念はこれら二つの考えの間で揺れ動いてきた。また、進化論は世界の変化を積極的に前面に打ち出したものである。系の時間発展は世界の時間的な変化を、系の全状態はその切片を切り取る私たちの異なる切り取り方を示している。

規則 A,B の場合、世界は変化し、それぞれの取り出しは出来事である。だが、規則 C の場合は世界は既に連続する系列として存在し、そこからの切片としての状態が一枚のトランプとなる。取り出しは状態の切片の取り出しである。この違いは二つの見方の数学的でない違いである。実際、数学上の違いはない。二種類のモデルを、例えば <規則 A> と <規則 C> のモデルをつなぎ合わせるなら、出発点の状態に戻ることが可能だからである。つまり、二つの規則の実行はなにもしないことと同じである。トランプモデルの前者は出来事モデル、後者は状態モデルと呼ぶに相応しい。

### 時空間の物理的概念

量子力学と相対性理論の両方を満足する時空間はどのようなものか。古典的な時空間概念では不十分で、出来事や過程をもとにそこから導き出される性質として時空間を考えなければならぬというのが一つの立場である。Monk の論文は出来事や過程が時空間の基礎にあることを述べているが、これは現象論や存在論 2 にどのような関係を持っているのか。

### ブロックスペース宇宙と時間

この宇宙は存在論 1 の限定版であるが、そのなかでの事象はどのように扱われているのか。事象はすべて状態である。それが連続的なものか離散的なものは大問題であるが、今はこれには触れずに措こう。状態は無秩序に存在しているのではなく、互いに区別でき、番号付けができてきている。しかし、そこには存在論的な意味での因果性はない。

この存在論が私たちの常識と異なるのは、事象が起こるということがない点だけである。私たちが考える因果律は事象が起こることを前提している。起こるのは私たちの認識の世界であって、物理的な世界ではない。時間や空間の形式が私たちの直観の形式かどうかは異議のあるところであるが、事象が起こるということは存在論 1 には存在しない。あるとすれば、したがって、私たちの認識の形式においてであるということになる。

これは何も不思議なことではなく、その理由は歴然としている。存在論 1 の骨格は数学的であり、数学的な対象は事象として起こらないのである。それは存在しているが生起しないし、消滅もしない。

ここで壮大な夢を展開することもできる。数学の物理学への適用は変化の中の不変のものを捉えるためであり、変化は前提されてはいるが、陽の部分は不変の部分である。影に変化は位置している。影の世界は数学には現れてこない。この陽の部分を基に作ったのが存在論 1 である。私たちは陽の部分を明らかにすることによってしか影の部分を捉えることができない。これが物理学の選んだ道である。したがって、存在論 2 は存在論 1 を明らかにした副産物としてしか陽の目をみることができない。更に、想像を続けることはできるが跡が見え見えである。

次にいまま少し現実的な話をしてみよう。欠けているのは生起だけであるから、それを補うことによって常識的な世界に近づけることが可能である。生起の挿入は何か混乱を引き起こすであろうか。論点先取という誤りは部分的に侵すことになるが、それでも挿入は可能である。生起の導入は大きな効果をもっている。二つの並列する系列は一つに収斂する。起こるということは二つの系列のいずれか一方を選択するという効果をもっている。

ブロックスペースの間に順序関係を考えることはできる。それは空間の間の部分集合の包含関係である。それを使って状態の集合のサイズで順序を与え、時間関係に使えないかというアイデアである。