Title	Time's Arrow
Sub Title	
Author	西脇, 与作(Nishiwaki, Yosaku)
Publisher	三田哲學會
Publication year	2000
Jtitle	哲學 No.105 (2000. 12) ,p.1- 33
JaLC DOI	
Abstract	Our cards model shows two world-views, but as far as we look at the sequence constructed, we can't see them. By making a ring with any sequence constructed in a cards model, we can represent two different time series in terms of two opposite directions of the ring rotation. Using this device, we can restate the thermodynamic discussions. In our ring model classical reversibility and recurrence are described concretely. As a result, ensemble interpretation is shown to be independent from the causal process of events. It shows us some properties, which can't be seen when only the causal process of a system is studied, but at the same time it hides some properties that the process has. In order to retrodict a past state of a system, we can use its time evolution conversely in classical mechanics. There is no such method in statistical mechanics. Hence, usually a certain past state of a system is assumed first and then we observe whether it evolves to the present state. But this is question-begging. If we reconsider this assumption and think of the direction of time in the light of empirical confirmation, the real problem is the confirmation under the assumption that time has a direction. There are two arguments about this. One says that the confirmation of the direction of time is possible. The other says it is impossible. This confusion is due to the interpretation of the proposition; "time has a direction," If you want to confirm which direction time has, then its confirmation is impossible. But if you want to confirm the direction which time already has, it is possible.
Notes	投稿論文
Genre	Journal Article
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AN00150430-00000105-0001

投稿論文

Time's Arrow

西　脇　与　作*

Time's Arrow

Yosaku Nishiwaki

Our cards model shows two world-views, but as far as we look at the sequence constructed, we can't see them. By making a ring with any sequence constructed in a cards model, we can represent two different time series in terms of two opposite directions of the ring rotation. Using this device, we can restate the thermodynamic discussions. In our ring model classical reversibility and recurrence are described concretely. As a result, ensemble interpretation is shown to be independent from the causal process of events. It shows us some properties, which can't be seen when only the causal process of a system is studied, but at the same time it hides some properties that the process has.

In order to retrodict a past state of a system, we can use its time evolution conversely in classical mechanics. There is no such method in statistical mechanics. Hence, usually a certain past state of a system is assumed first and then we observe whether it evolves to the present state. But this is question-begging. If we reconsider this assumption and think of the direction of time in the light of empirical confirmation, the real problem is the confirmation under the assumption that time has a direction. There are two arguments about this. One says that the confirmation of the direction of time is possible. The other says it is impossible. This confusion is due to the interpretation of the proposition; "time has a direction." If you want to confirm which direction time has, then its confirmation is impossible. But if you want to confirm the direction which time already has, it is possible.

* 慶應義塾大学文学部教授（哲学）

1 時間は昔から哲学者だけでなく，ほとんどすべての人にとって謎であった.「時間とは何か」という謎としてよりは，時間の中で右往左往する人間，時間に縛られ死んでいく人間といった形で私たちの人生を操る強力な謎の力をもつものとして私たちを引きつけてきた. ここでは時間についての前者の謎の一部を考えてみよう.

時間は自然の因果的な現象変化に深く結びついている. しかし，私たちは直接に時間を見ることも，感じることもできない. このことが時間に対して現象変化を引き起こす黒幕という役割を与えてきた. 物理学は時間を巧みに使って自然の現象変化を説明する諸理論を生み出してきたが，時間についての物理学はまだ完成していない. 時間についての物理学は時間を力学において巧みに使った Newton と Leibniz の間での論争から始まる. Newton は時間（そして空間）を物理的な実体と考え，その理由として絶対運動を挙げたが，Leibniz は時間が世界全体の中での関係であり，世界に相対的なものと考えた. この論争は現在にまで引き継がれている. 時間は実体的か関係的かという問いは，次の例文をどのように考えるかの違いとして具体的に示すことができる.

すべてのものを３m 右に移動する.
すべてのものを３分過去に戻す.

上の二つの文が実質的な物理的変化を引き起こすというのが（時間と空間に関する）実体論の立場である. 最初の文は時間ではなく，空間に関するものだが，Newton は空間に関しても実体論的に考えた. 一方，Leibniz は時間と空間の両方に対して関係的と考え，上の二つの文は物理的変化を何ら引き起こさないとした. 上の例文から察することができるように，時間と空間は物理現象に対して類似した性質をもっている.

上の例文の「３m右」,「3分過去」をそれぞれ「３m左」,「3分未来」に

変えたらどうなるだろうか．それでもNewtonとLeibnizは変えられたものについて全く同じ議論を戦わせることができる．しかし，誰の目にも

すべてものを3分過去に戻す
すべてのものを3分未来に進める

は異なった内容をもっていることは明らかである．異なる内容は時間的な変更にある．その変更は時間的な変化の方向である．こうして，時間には実体的か関係的かという問いから独立した別の問いがあることがわかる．それは「時間には方向があるか」という問いである．正確には，時間的な状態の経過，変化が一定の方向をもっているかどうかという問いである．ビデオテープを反対に回した場合に展開されるような現象がこの世界で可能かどうかと考えてもよい．

方向がある場合，私たちはその方向をもとに時間を二通りの仕方で考えてきた．McTaggartはこの二通りの時間をそれぞれA系列，B系列と呼んで区別した．A系列は私たちが日常生活で馴染んでいる，過去，現在，未来をもった時間であり，未来からやってきて現在を通過して，過去に過ぎ去っていく時間である．一方のB系列は数直線で表される前後関係だけをもった時間で，物理学で使われているものである．A系列は時制(tense)をもつが，B系列はもたないと言ってもよい．すると，A系列はB系列に還元できるかどうかが問題となってくる．

以上述べてきたものが時間に関する三つの主要な哲学的問題である．ここでは時間的な変化の方向についてもっぱら考えることにする．Huw Priceの *Time's Arrow and Archimedes' Point* が与えた影響は大きい[1]．

[1] Priceは1998年に来日し，三田哲学会主催の講演会で同書の内容の一部について話した．たまたま前年度に同書を授業で取り上げたこともあり，それらが本論文の動機となった．

その内容を以下の要約を通じて垣間見た上で，簡単なモデルを通じて考えてみよう．時間の哲学をどのように時間の物理学に結びつけるかが主題である．

2　Price の本では次のような主張がなされている．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．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．T. Nagel は科学の特徴を the view from nowhere と述べたが，Price はそれに習って the view 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，時の流れや時制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二つの事を区別した上で (2) 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．第一部は次のようである．まず 2 章から 4 章までは従来の熱力学，放射現象，宇宙論に含まれる時間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論点先取の誤りであり，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を引き起こす．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にではなく，外側に広がって行くのか．Wheeler と 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ていない．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，時間非対称性は結局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的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暗黙のうち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．私たちの日常世界が時間非対称的な観点の所産であることを認識するならば，なぜ量子力学がそれほどに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くことができる．非局所性，アインシュタイン好みの実在論的な解釈，観測者の謎といった問題が解決できる．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な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ンの主張である．彼は量子力学が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 章での逆向き因果 (backward causation) を認めることによって示される．

以上の要約の内容を詳細に検討する代わりに，簡単なモデルを使って時間の方向性を具体的に考え，Price の主張を意識しながら検討してみよう．

3　次のようなモデルをもとに出来事とその経緯をできるだけ単純化して考えてみよう．これから述べるモデルはプラトン的世界からどのようにしてアルキメデス的世界がつくり出されるかを直観的に示すためのものである．モデルは静的な個々の状態から一連の状態の変化を細部にわたって正確に構成を再現するものではなく，一連の状態を構成するからくりだけを示すものである．それも構成の方向だけに注目したものである．したがって，実際の出来事の経緯が具体的に描き出せるものではない．

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．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．それ以後の操作は次の規則に従うものとする．

〈規則 A〉

(1)　抜き取っ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，そのカードを抜き取っ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，

それを抜き取っ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, 〈規則A〉を適用すると, 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から始めると,

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

の二つの系列ができあがるだろう. これ以外にはない. このような3から始める系列づくりを何回行なっても, 二つの系列がそれぞれおよそ半数つくられるだろう.

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. 今度は規則 (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.) 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 (ダイア), ……,
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, 412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二種類である．

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．しかし，412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) 抜き取っ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，そのカードを抜き取っ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，選ばれたカードと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，それを抜き取っ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，スペード一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〉は系列上の数字が一定の順序にな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一枚選ばれることを求めている．これらをそれぞれ，順序性の規則，線形性の規則と呼ぶことができる．どうしても一枚選出できない場合，それは非線形性の規則となる．トランプカードの場合，非線型性は成立しない．（非線形性の場合でも順序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べという条件である．（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，順序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一定の順序で線を引く（順序性）．線を引いている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）．線を引き始めたら最後まで躊躇する必要はない．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．

この簡単なモデルに登場するカードのそれぞれをプラトン的世界，構成される系列をアルキメデス的世界と呼んでみよう．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あるいは断片として切り取ることをトランプモデルとしてつくってみよう．これは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としよう．それらを O_1, O_2, ……, O_{13} としよう．このような選び出し操作によって，例えば，次のような数字のカードが選び出される．

3, 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．この選び出しの操作子 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} で選び出されたカードに最も近い，系列中のカードを一

枚選ぶ．($n \leqq 13$)

(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．すぐにわかるのは，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．この規則にも順序性や線形性が 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．トランプ一枚から系列をつくる場合も，系列から一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的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的世界にはならない．また，無限の切片がもとのアルキメデス的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，それより近い数が途中で見つかったら，その時点で挿入する，挿入しなくとも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と，〈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であり，状態が変化するので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的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的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，変換に関する能動的解釈 (active interpretation) と受動的解釈 (passive interpretation) も類似の例である．〈規則 A〉と〈規則 B〉の場合，世界は変化し，それぞれ取り出されるカードは起こる出来事に対応している．だが，〈規則 C〉の場合，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．この違いは二つの捉え方の数学的でない違いである．実際，数学上の違いではない．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，二つの規則を続けて実行することはなにもしないことと同じであり，数学的な意味で逆操作になっているに過ぎない．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．しかし，すべての規則を何回か適用した後でモデルを見てもその違いは見つからない．

4　以前のトランプモデルから次のようなトランプカードのリングモデルを作ろう．並べられた13枚のカードそのままの順序で輪にする．カードの数字は時計の文字盤のように順序を表す名前として使うことができる．(実際，1から13までの数字でつくられる時計の文字盤を想像し，かつ1から13までの数字がその中のどれかを出発点として並んでいると考えればよい.) そして，系列の数字の向きは時計回りか反時計回りかによって区別される．

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

という私たちが以前につくった系列はリングにすることによって反時計回りと時計回りの違いとして表現されることになる．但し，時計の文字盤を裏側から見ることができるとすれば，上の二つの系列はリングになったとき，その順序は区別ができなくなる．数字は反転しているから系列自体は区別がつく．ここで新しい道具立てを考えよう．反時計回りでボールが一個づつ各カードの上を通過するとしよう．この輪になったカードの上を赤と白のボールが一枚のカード上に一個のボールという形で，追い越しなしに整然と通過するとしよう．さらに，魔法札と呼ばれる何枚かの特別のカードを通過すると，赤は白に，白は赤にとボールの色が変化するとする．以上がこのモデルのすべてである．ここで次のような命題を考えてみよう．

魔法札の数や赤，白のボールの数が最初どのようであれ，このシステムは赤，白同数のボールという均衡状態に達する．

この命題は，システムは最初の赤，白の数が異なるという不均衡な状態か

ら赤，白同数という均衡状態に至る，つまりはシステムのエントロピーが増加するということを主張している．(残念ながら13枚しかないカードでは赤，白の枚数は6と7の間を振動する．) 例えば，赤が多い時には赤のほうがたくさん魔法札を通過することによって白に変わり，白はそれより赤に変わる回数が少ないのであるから，最初の状態がどのようであれ，最終的には赤，白同数に落ち着くだろうことは直観的に見て取れる．そこで，私たちの関心をこの命題の証明そのものだけでなく，この命題の証明に現れる時間的変化の向きの論証にも向けてみよう．

Nを系列のトランプカードの数とすると，$N=13$である．以後の話は13枚で述べられるが，任意の数に関して成立する．魔法札は任意にその数を決めることができる．例えば，魔法札を偶数札とし，偶数の数をもつカードを通過すると赤，白の色の変化が起こるようにできる．(魔法札は1から12まで何枚でもよいが，一枚も魔法札がない，すべて魔法札という場合は排除しておこう．なぜこの条件は必要か？) ここで時間tの白ボールの数を$W(t)$，赤ボールの数を$R(t)$とすると，その正規化された差は$d(t)=(W(t)-R(t))/N$である．時間tで魔法札上にある白ボール，赤ボールをそれぞれ$W'(t), R'(t)$とする．すると，次のことが成立している．

$$W(t+1)=W(t)-W'(t)+R'(t)\,,$$
$$R(t+1)=R(t)-R'(t)+W'(t)\,.$$

全体の札に対する魔法札の割合を$m=$(魔法札の集合の個数)$/N$と表すことにしよう．ここで次の仮定を置く．(この仮定は分子カオス (molecular chaos) の仮定に対応するものである．)

(魔法札上の白(赤)ボールの数)/(白(赤)ボールの数)=(魔法札の数)/N^2
(この仮定から，$W'(t)/W(t)=m$, $R'(t)/R(t)=m$ となる.)

この仮定を使って，上の関係を表すと，

$$W(t+1)=W(t)-m(W(t)-R(t)),$$
$$R(t+1)=R(t)-m(R(t)-W(t)).$$

また，赤，白のカードの差は，

$$d(t+1)=(W(t+1)-R(t+1))/N=(1-2m)d(t)$$

となり，したがって，

$$d(t)=(1-2m)^t d(0).$$

それゆえ，このシステムは冪的にすばやくピンク色になる.（実際にピンク色になるわけではない. 迅速にカードが移動した場合に私たちに見えるのがピンク色であり，それは力学的に考えていたのでは現れない創発的な性質 (emergent property) である.）そして，$m>1/2$ なら振動を伴うことになる. これが私たちの命題の証明である. 赤と白のボールの数の差は減っていき，最終的に均衡状態に達する. N が十分に大きな数ならこの

[2] この仮定は次の関係が成立することから出てくる.（白ボールの数）:（赤ボールの数）=(魔法札上の白ボールの数):(魔法札上の赤ボールの数). 心配の向きは実際に証明してみればよい. 例えば，白ボールの数を W，魔法札上の白ボールの数を M，赤ボールの数を R，魔法札上の赤ボールの数を M' とすると，上の関係から，$W:R=M:M'$. $M/W=M'/R=k$ とすると，$(M+M')/N=k$ となって仮定が満たされる.

説明は納得できるだろう.

では，エントロピーはどのようになるか．パラメータ d は，$d=(2W-N)/N(W=0,\ldots\ldots, N)$ であるから，-1 から $+1$ の間を動くことになる．そこでシステムのエントロピーを次のように定義しよう.

$S(d)=k\log$ [d と矛盾しないミクロ状態の数]

システムのボールが取ることのできるミクロな状態の総数は 2^N であり，W の白ボールの数をもつことと矛盾しないボールの状態の数は N から W の対象を選び出すことである．そこで N から W を選び出す組み合わせの数を上の式に入れるとエントロピーが計算できることになる.

以上がこのモデルの記述とそこから得られる結果である．エントロピーの増大が証明され，それが私たちの命題の実質的な内容となっている．どのようなリングモデルのシステムであれ，そのエントロピーは増大することが同じように証明でき，そこから熱力学の第二法則の正しさが帰結することになる．これが標準的な理解である.

このような標準的な理解に対して，いわゆる可逆性と再帰性のパラドックスを考えてみよう.

(1)　可逆性

例えば，システムの 75% が白ボールで実験が始まったとしてみよう．実験がそのまま進行すると，上述の結果となる．つまり，最終的に赤，白のボールの数は同数に近づく．では，この逆の操作を考えるとどうなるか．ボールが時計回りに動き，魔法札に入る際にボールの色が変わる．このような逆向きの変化は上述の計算の仕方と同じように記述できる．（興味ある読者は実行されたい．）すると，d は減っていき，したがって，エントロピーは増大する．つまりはピンク色になっていく．時計回りの逆向

き変化でもシステムのエントロピーは増大することがわかる．ここで問題が生じる．一定の期間，反時計回りでシステムが動いた後で，今度は時計回りに変化し出すとしてみよう．すべての変化は逆向きであるから，同じ期間逆の変化が持続した後では，システムは最初の白 75% に戻るはずである．リングモデルのシステムが可逆的な操作だけからなっていることは明らかであろう．ところがエントロピーは増大する．これは矛盾である[3]．

(2)　再帰性

再帰性はリングモデルの場合，極めて簡単である．反時計回りに $2N$ 回ボールが移動するとどうなるだろうか．ボールはそれぞれの魔法札を 2 回通過し，そこで色の変化を被るが，2 回の操作の合成は色の変化をもとの色と同じにする操作と同じである．したがって，2 回転後のシステムの状態は最初の状態と同じになる．後は何回移動させてもこの周期で変化が繰り返されるだけである．システムは偶数回の回転後には 75% の白ボールの状態に復元している．したがって，このシステムは規則的な変化を周期 $2N$ で繰り返すという時間発展の形式を持っていることになる．しかし，上述の計算はこれとは大違いで，システムのエントロピーは増大す

[3] (1) の可逆性の反論については異議のある者が少なからずいるのではないか．その異議はエントロピーが逆向きの変化に対しても増大するという点についてのものである．上述のように任意の赤，白のボールの数の異なる状態から逆向き変化を考えた場合には最初の状態より確かに増大する．より確定的には，反時計回りの初期条件と同じ条件のもとで時計回りを考えた場合に増大する．しかし，白 75% のある状態から反時計回りでのシステムの経過を追い，ちょうどある時点でそれと全く正反対の経過を辿らせた場合，同じ経過の逆経過であるから最初の状態に戻ることになる．そして，リングモデルでの逆向き変化は 1 : 1 でもとの変化に対応している．この戻りつつある経過の間，エントロピーはどのように変化するのか．白 75% に戻っていくのであるから，エントロピーは減少していくことになる．そこから更に逆向きの変化を続けるならば，今度はエントロピーが増大に向かい均衡状態に達する．したがって，上の内容を正確に言うならば，任意のエントロピーの低い状態から出発しての逆向き変化はエントロピーが増大するというべきなのである．これは私たちが考えているのが単純なモデルであるからこそ明らかになる点である．

る．これも矛盾である．

さて，このような歴史的な反論に対しての典型的な解答はアンサンブル (ensemble) を使った解釈である．

A を魔法札の集合とする．その特徴関数を次のように定義しよう．

$$e_p = -1 \quad p \in A \text{ の場合}$$
$$\quad = 1 \quad \text{他の場合}$$

ここで，カードの数をそのまま文字盤の住所にする代わりに反対回りに順序をつけ直し，その番号を p としておこう．（通常の時計の 12 時のところに 1 のカードがくると思えばよい．）ここでボールの色についての特徴関数（正確にはボールの状態の力学的変数）を次のように定義する．

時刻 t に p の場所のあるボールが白であるなら，$n_p(t) = +1$
時刻 t に p の場所のあるボールが赤であるなら，$n_p(t) = -1$

さて，システムの時間的な発展を追ってみよう．すると，上の定義を使って次のような発展として記述できる．

$$n_p(t) = e_{p-1} n_{p-1}(t-1).$$

この式から，

$$n_p(t) = e_{p-1} \cdots\cdots e_{p-t} n_{p-t}(0).$$

二つの特徴関数によって赤，白のボールの個数をシステムの単位変化（各

ボールがその占めている座を一つ整然と反時計回りに移動する変化）にしたがって計算していくことができる．ボールの個数の収支決算のためにする工夫と考えればよい．すると，システム全体の収支は，

$$d(t)=1/N\Sigma_p n_p(t)$$
$$=1/N\Sigma_p[\Pi_l e_{p+l}]n_p(0) \quad (0\leqq l\leqq t-1)$$

となる．ここで求めたいのは $\Sigma_p[\Pi_l e_{p+l}]n_p(0)$ の値である．それは $[\Pi_l e_{p+l}]$ の期待値を求めることである．もし魔法札の各住所 p がランダムであれば e_p は他の住所変数 e_p とも n_p とも相関していない．相関のない変数についての積の平均は平均の積である．例えば，$\langle abc\rangle=\langle a\rangle\langle b\rangle\langle c\rangle$ である．ここで各 e の平均を考えると，

$$\langle e\rangle=(+1)Pr(e=+1)+(-1)Pr(e=-1)$$
$$=(+1)\times(N-|A|)/N+(-1)\times|A|/N$$

（ここで $|A|$ は魔法札の集合 A の個数とする）

$$=1-2|A|/N$$
$$=1-2m$$

となる．この値は以前の計算結果と同じである．したがって，

$$\langle[\Pi_l e_{p+l}]\rangle=(1-2m)^t.$$

したがって，

$$d(t)=1/N\Sigma_p(1-2m)^t n_p(0)$$
$$=(1-2m)^t d(0)$$

が得られる．

ここでの導出の特徴はアンサンブルにある．それは各 e の独立性に現れている．可逆性の反論における逆の過程での力学法則は

$$n_p(t)=e_p n_{p+1}(t-1)\ (\text{普通の過程では}\ n_p(t)=e_{p-1}n_{p-1}(t-1))$$

である．さて，普通の過程で t まで発展したとして，次の $t+1$ で逆の過程になったとしよう．すると，上の式の t を $t+1$ で置き換えると，

$$n_p(t+1)=e_p n_{p+1}(t)$$

であり，したがって，上の括弧の中の関係から，

$$n_p(t+1)=e_p e_p n_p(t-1)\,.$$

ここで $(e_p)^2=1$ であるから，

$$n_p(t+1)=n_p(t-1)\,.$$

この式は t まで普通の過程で発展し，$t+1$ で逆に発展した場合に $t-1$ のシステムの状態に戻ることを表している．ここで $(e_p)^2=1$ は相関関係のあることを表しており，独立していない．しかし，上の導出では次の二つの性質が重要であった．

$$\langle e\rangle=1-2m\,,\ \langle abc\rangle=\langle a\rangle\langle b\rangle\langle c\rangle.$$

この二つの性質は相関がないことを表している．ここで重要なのは次のこ

とである．アンサンブルのなかでは因果関係はどこにもない．それはアンサンブルの各要素が因果的には独立したものであり，それら各要素間の関係を因果的に解釈することはできないことを意味している．アンサンブルに依存した概念は因果的に無力，惰性的である．これがアンサンブルに確率を適用した場合の基本的な特徴である．

再帰性についてはどうか．$n_p(t)$ の積では異なる e_p を含んでいる．これは $t<N$ について言えることであって，$t \geqq N$ では同じものが1回以上現れる．このような繰り返しも含んで計算がされており，それでも一般的な性質としてシステムのエントロピーの増大は証明されるようになっている．アンサンブル解釈ではシステムの各状態の輪廻的な変化は完全に消えてしまっている．

以上がアンサンブルを使った証明の概略であり，かつ可逆性と再帰性に対する解答である．アンサンブルを使った証明は確かに可逆性と再帰性の反論を見事にかわしている．可逆性も再帰性もシステムの時間的な発展のもつ性質である．アンサンブル解釈はこの時間発展を集団の平均として表現し，特定の時間発展に関与していない．それは時間発展するシステムの統計集団に関する主張であって，システムの時間発展の性質に関する主張ではない．両者は類似した性質として表現できるが，その存在論的な根拠，つまりは何についての性質かという点で決定的に異なっている．こうして，次のような結論を得ることができる．

アンサンブルを考えることによって，システムの個別的な時間発展という観点からは見えない性質がわかるとともに，時間発展という観点でこそ見える性質が見えなくなる．これが逆にアンサンブル解釈の欠点ともなってくる．アンサンブル解釈はシステムの因果的な変化とは無関係である．この無関係性がシステムの時間的な発展に関する主張をしようという場合には不利に働くことになる．ところで，時間的な変化の向きはシステムの時間発展に密接に関係している．標準的なシステムがあるとすれば，その

時間発展の向きが時間的変化の向きであるといってもよいくらいに密接な結びつきをもっている．したがって，アンサンブル解釈は時間的な変化の向きに対して，それにコミットしないという理由からここでの私たちの関心に有益であるとは言えない．

5　私たちは振り出しに戻ったのだろうか．確かに時間的な変化の方向に関する物理的特徴づけという問題に対してはそうである．しかし，この問題についての過去の誤り，そして何よりもPriceの哲学的な指摘をより具体的に示すことができた．実際，それがモデルを考えた理由である．リングモデルは単純ながら哲学的な主張の物理学的な裏付けになっている．そこで，今度は実際の物理学者の研究室での行動をもとに考えてみよう．

物理学者は大学の科学哲学の講義で科学理論とその確証について学ぶかもしれない．正式に学ばなくとも，経験的にその一般的な手順を習得するだろう．その代表的な手順は，与えられたシステムの状態に対して，理論を適用しシステムの未来の状態を予測することである．これは上のモデルの場合も同じであり，実際にそのような手順で計算が行われた．予測は統計力学では次のような一般的な手続きを取る．現在のシステムのマクロな状態を考え，それらに対応するミクロな状態に等確率を与え，各状態の経過を平均する．これはエルゴード性の仮定と同等である．平衡でない場合には，そのようなマクロなシステムと整合するすべてのミクロな状態を考える．ただし，物理学者は通常自分の時間を使ってシステムの現在や未来を考えている．だから，tを逆に動かすといったことは最初から除外している．この常識的な補足のために物理学者は成功しているのであるが，それは形式的には物理学で承認されていない補足であり，いわば私たちの人間中心主義的な補足に過ぎない．可逆性の反論にはこれが見事に表されている．システムはこの補足を取り除くと，（私たちの時間で）過去に向かっても未来に向かってもエントロピーが増大した．これを強調する意味

で次のように再確認しておこう.

> 通常でない状態を取り上げ，その状態からいずれかの時間的な方向に発展させたなら，そのエントロピーは増大する．ここで通常でない状態とはエントロピーが低い状態であり，それは自然でない状態である．そして，エントロピーが低いというマクロな特徴づけはその状態と矛盾しないミクロな状態が相対的に少ないということを意味している．

物理学者による通常の対応の仕方は次のようであろう．時間的な変化は一方向であり，したがって，エントロピーの一方の増大は存在せず，無視することができる．だから，エントロピーの増大は一方向にだけ起こる．この対応では，時間的変化は一方向という前提になっている．未来をエントロピーの増大の向きに考えるのはそれでよいとして，過去を現在から知ろうとする場合はどうしたらよいのか．現在の状態から未来の状態を計算したように，現在の状態から過去の状態を統計力学的に遡及的に推測するだろうか．この時，常識的な前提が優先する．統計力学的に遡及する代わりに，別の手だてを採用する．それが原因を仮に定め，そこから結果を説明するという手だてであり，原因についての仮説設定である．光は波であるという仮説を使って光のもつ性質を説明するように，システムの過去のある時点の状態を仮定してそれが現在の状態に整合的に発展するかどうか考えるのである．仮定された状態が上手く現在の状態に発展するような状態であれば，それが過去の状態であったとして確証される．そうでなければ，また別の仮定を設定してみる．上手く当てはまる状態が見つかるまでこれを続ける．これは Pierce によってアブダクション (abduction) と呼ばれた推論の一形態である．この時，仮定として (現在よりは) 低いエントロピー状態のシステムが置かれるが，それを設定するのは私たちである．未来に対しては現在の状態に統計力学を適用し，過去の状態に対して

は仮説設定の方法と統計力学の両方を適用する．これが実際に物理学者が行っていることである．この巧みな使い分けは今の場合に限った話ではなく，思い当たる同じような例は無数にある．このような使い分けにとって致命的な次の質問をしてみよう．いつでも低いエントロピー状態を仮定として用意できる保証はどこにあるのだろうか．これに対して次の二つの立場が考えられる．

(1) なぜ仮説設定の方法を過去の推測に対して適用するのか考えてみればよい．それは現在のシステムの状態から時間発展する過去の状態を逆発展演算子の値とした場合，マクロな現在の状態に整合的なミクロな状態それぞれの逆向きの時間発展であり，その結果の合計は一意的に過去のマクロな状態を指定してくれない．ミクロな状態の集合がそれに対応することになる．そこから今度は発展演算子を適用して現在の状態に至ることは，さらに値としてのミクロな状態の数の可能性を広げることになる[4]．これでは予測にならない．したがって，過去に対しては統計力学だけでは対処できない．それゆえ，仮定を設定することが不可欠なのである．これが仮説設定の理由である．時間の向きが一方向であり，そのような一方向だけの因果的な世界について科学的な追求をしているのであるから，科学的知識の獲得方法もそれに従うべきである．これは筋の通った話である．ただし，これは物理世界が時間の向きをもつという前提があっての話である．

(2) 仮説設定の方法は論理的にいつも正しい方法ではない．自然界では現在から未来に向かっていつもシステムのエントロピーは増大するとい

[4] このような事態は古典力学では起こらない．それは過去，現在，未来の出来事が時間軸に関して線形に並んでいるからである．そこでは現在から過去が一意的にわかる．したがって，わざわざ過去の状態を仮説として設ける必要はない．

う仮定をそのまま過去から現在に至る過程に対しても仮定し，それに基づいて特定の過去の状態を仮定している．システムの現在から未来に対して成立することが過去から現在に対しても成立すると仮定しているのである．システムの現在のエントロピーが最小なら，どのように過去の状態を想定できるだろうか．過去への遡及が逐次的に行われるなら，その度によりエントロピーの低い状態が仮定されなければならなくなる．これは無条件に仮説設定ができないことを示している．だが，無条件の仮説設定が科学方法論では許されてきた．この誤りは科学方法論自体の誤りというより，一方向への因果的な自然に対してだけ考案された科学方法論がその範囲外では無力であることを示している．

(2) の立場がより説得力をもつことは明らかであろう．科学方法論でさえ，その研究の対象によっては変わらなければならないことは強調するまでもないだろう．

6　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．以下「時間の向き」という省略表現を「物理的な過程の時間に関する非対称性」という意味で使うことにする[5]．

時間に向きがあると仮定してみる．時間の向きを仮定した上で，それを使って理論的な展開がなされるとしてみよう．時間の向きという過程は極めて基礎的であり，そのため科学のあらゆる場面に影響を波及させることになる．この仮定のもとに因果性や時制が，そして時計を考えることが可能になる．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

[5] これは哲学専攻博士課程の横尾剛君から指摘されたことである．以下の「時間の向き」は時間がもつ性質という意味ではなく，Price の関心と同じようにシステムの物理状態の時間的な変化のもつ非対称性である．

確証される．この確証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，既に見たように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．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，経験科学の理論が絶対に正しいかどうかが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，高い確証が与えられたとした場合，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，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．

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．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で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 と Stengers, Coveney と Highfield の主張に対しては，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．

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.（物理量としてエントロピー，現象として波の拡散が例となる.）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.）それぞれの計測に対して1回目，2回目と名札をつけておく．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証されたと言ってもよい.（本当にエントロピーの測定はできるのだろうか．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［Atkins, 訳書の pp. 47–50］を参照してほしい．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そのものではなく，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.）

しかし，このような確証の形式は何かを見落としているように思えてならない．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．そして，理論的に仮定された時間の向きを経験的に確証することは不可能であるというのがこの一撃の主張である．これを詳しく見てみよう．対処の一つは対象にしているシステムについてだけ仮定を認め，実験システム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．

2回目の値が高く，1回目は値が低い場合，事は無事進行するように見える．逆の値の場合，どうなるのか．その場合，この実験は確証に失敗するか，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，時間の向きを仮定しない場合，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システムについては時間の向きを認めず，実験システム全体については時間の向きを認める場合はどうか．残念ながら，これは論理的にできない仮定である．実験システムは対象のシステムを含むから，実験システムの時間の向きは対象のシステムについても成立する．

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，時間の向きを仮定した上でそれを実験的に確証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．それだけでも時間の向きに関して経験的に確証できないということを意味している．

私たちはこうして正反対の結論を得ることになる．

7　6での議論には重大な混乱がある．その混乱の元凶は「時間の向き」の意味である．そもそも向きはいくつあるのか．時間が複数の次元をもつものであれば，その向きは二つには限らない．しかし，常識的に1次元で前後の二つの向きであると仮定してみよう．そのように仮定しても「時間に向きがある」という表現は多義的である．私たちは今一度「時間の向き」という意味を見直してみるべきである．

時間に向きがない
時間に向きがあるかどうかわからない
時間に向きはあるが，どの向きかわからない
時間に向きがある
（このほかにも類似の命題を数多く作れる．）

これらの命題には存在論的なもの，認識論的なものが入り交じっている．

物理学での時間の向きに関する問いは当然存在論的なものである．ここでは「時間に向きがある」と「時間に向きはあるが，どの向きかわからない」という二つの異なる命題に焦点を当ててみよう．そして，この二つの命題の違いが経験的な確証が可能かどうかに異なる解答を与えることを見てみよう．

(1)「時間に向きがある」を考えよう．時間の向きの仮定はその実験的な確証を向きの確証に促すのではない．向きは既に仮定されているのであるから，その向きの証拠を見出すだけである．経験的な確証は向きそのものの確証ではない．むしろ向きの物理的な特徴の確証である．「時間に向きがある」を物理学的に意味ある命題として考えるためには，数多く考えられている時間の矢のどれかを仮定することである．それらには宇宙論的な矢，熱力学的な矢，生物的な矢等が考えられる．ここでは宇宙論的な矢を仮定してみよう．すると，「宇宙論的な矢として時間の向きがある」という仮定のもとで物理現象が考えられることになる．その向きに対して，それに対応する物理量を測定し，いつもその向きと一致していれば確証が与えられたということになる．そのよい候補が熱力学的なエントロピーである．実際 **6** でのエントロピー計による2回の測定は宇宙論的な矢と熱力学的な矢の一致の確証なのである．

(2)「時間に向きはあるが，どの向きかわからない」は微妙な命題である．「どの向きかわからない」のは私たちである．この認識論的な微妙さが上述の確証が仮定そのものを使ってしまっているということにつながっている．仮定の正しさを確証しようとしても，「どの向きかわからない」ままでは確証することができず，いずれかを仮定しなければならないことになる．いずれの向きかという確証までも計測に含めるならば，**6** のエントロピー計の計測は確証にはならない．そして，これが致

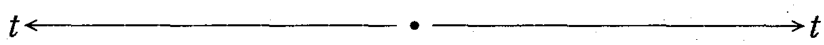
命傷となって経験的な確証ができないという結末になったのである．

(1) と (2) の違いは (1) が時間の向きの決定を確証しないのに対し，(2) はその確証において向きの決定にまでコミットしている点である．この違いは極めて大きい．(1) は宇宙論的な時間の向きが熱力学的な時間の向きと一致するかどうかという確証であり，(2) は時間の向きそのものの確証である．こうして私たちが **6** の混乱に対してもつ解答は以下のようになる．

「時間に向きがある」の (1) の意味での確証に対しては経験的に可能である．しかし，(2) の意味での確証は経験的にはできない．システムがいずれかの向きをもつという仮説の経験的な確証はできない．できるのは，システムがある向きをもつという仮説の確証である．では，「時間に向きがある」という命題は上のいずれの仮説なのか．この命題が物理学的な命題であれば，それは (1) の意味で理解されるべきである．物理学に認識論をもち込むなら (2) の命題は意味をもつが，それは既に物理学の範囲を逸脱している．逸脱していても，それは立派な哲学的な命題であることに変わりはない．

\# 「時間の向き」の経験的確証の不可能性について

上の叙述ではエントロピー計の例から直観的な説明を導き出したが，より一般的な説明を与えてみよう．確証したい事態はどのようなものか．



確証の時点

上のいずれの方向かの実験・観察による確証が問題となっている．確証する時点から実験や観察が始まると考えられるが，今までの経験的な確証の

仕方から追跡型と枚挙型に分類できる．

(1)　追跡型の場合

追跡的な確証は最初から追跡方向をもっている．上の矢印のいずれかの方向に追跡が行なわれ，通常は追跡の方向が時間の方向と見なされる．時間の進行方向が追跡方向と異なる時は，追跡方向をもとにして方向が定められる．いずれにしろ，追跡の際の方向を疑問視したのでは経験的な確証の意味がなくなってしまう．

(2)　枚挙型の場合

枚挙型の典型は確率・統計的な確証である．確率・統計的な関係を頻度によって確証するもので，エントロピーはその代表である．確率概念に時間的な経過が入っていないように，枚挙型は枚挙の方向をもっていない．しかし，統計力学のエルゴード仮説が意図しているもの，つまり，集団平均を時間平均に読み替えるという工夫によって，枚挙結果に時間の方向が導入される．枚挙結果の解釈によって時間の方向が導入されるのである．その方向は枚挙の順序である．エルゴード仮説がない場合でも枚挙の順序がそのまま時間の方向となる．

したがって，追跡型，枚挙型いずれの確証タイプでも，時間の方向の経験的確証はできないことがわかる．追跡型でも枚挙型でもない確証タイプがないなら，時間の方向に関する経験的確証はないことになる．私たちは現在別のタイプの確証を知らない．

この結果は何を意味しているのか．上の結果から，時間の方向は直接に確証されない理論的なものということになる．理論的概念ならば，ポアンカレが物理世界の幾何学について，アインシュタインが同時性について，それらが規約 (convention) であるとしたように，時間の方向も規約であると考えることはできないのだろうか．つまり，物理空間の記述にどの幾

何学を選ぶか，何をもって同時と言うかと同じように，いずれの方向を採用するかを規約として受け入れるということである．

時間の方向が規約なら，歴史や時制は意味を失うのではないかという懸念がある．方向の有無と経験世界は両立する．いずれの方向であれ，一方の採用から他方の採用に変えても，世界についての話に真偽の違いを引き起こさない．したがって，歴史も時制も変わらない．同じ歴史的事実と同じ時制表現があるだけである．

規約としての解決は決定的なものではない．それは暫定的なものに過ぎない．というのも，いずれの方向かの規約は他の物理学の知識によって影響を受け，その知識自体は変更可能だからである．

8　私たちは簡単なトランプモデル，リングモデルをもとにアルキメデス的な世界とその構造をできるだけ余計なものを省いた形で考え，それをもとに時間の方向の確証について考えてきた．それによってわかったことを以下にまとめておこう．

1　トランプモデルは二つの異なる世界観を示しているが，でき上がった系列を見る限りではこの区別は表面には出てこない．
2　系列をリングにすることでシステムの回転方向の違いによって二つの経過を表現でき，しかも熱力学的な議論を再現できる．
3　リングモデルでは古典的な可逆性と再帰性の反論を具体化できる．
4　アンサンブル解釈は出来事の因果的な経過とは独立している．それは個々のシステムの因果的な経過を追跡する場合には見えないシステムの性質を見せてくれると同時に，個々の経過のもつ性質は隠してしまう．
5　現在から過去を遡及的に推測する時，古典力学ではシステムの時間発展を逆に辿ることができるが，統計力学ではそれが物理学的に意味の

ある結果を生んでくれない．それゆえ，システムの過去の状態を仮説として設定し，現在の状態に発展するかどうか調べる．ここには時間の方向に関する論点先取が潜んでいる．

6　仮説設定を見直し，経験的な確証という側面から「時間の向き」を考えてみると，「時間に向きがある」という仮説のもとでの確証が問題となってくる．確証が可能であるという解答と可能でないという解答が得られ，そこには明らかに混乱がある．

7　この混乱は「時間に向きがある」という命題の内容解釈に起因している．「向き」そのものまでも確証する場合には不可能であるが，定まった「向き」に対しては確証が可能である．

References

F. Arntzenius, 'Mirrors and the Direction of Time', *Philosophy of Science*, 64, 1997, S213–22.

P. W. Atkins, *The Second Law*, 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.

C. Callender, 'What is 'The Problem of the Direction of Time' ? ', *Philosophy of Science*, 64, 1997, S223–34.

P. Coveney and R. Highfield, *The Arrow of Time*, Fawcett Columbine, 1990.

P. Ehrenfest and T. Ehrenfest, *The Conceptual Foundations of the Statistical Approach in Mechanics*, (A Dover Edition) 1990.

V. Icke, *The Force of Symmetry*, Cambridge University Press, 1995.

H. Price, *Time's Arrow and Archimedes' Point*, Oxford University Press, 1996.

I. Prigogine and I. Stengers, *Order out of Chaos*, Heinemann, London, 1984.

K. Ridderbos, 'A Point Outside Time ?', *Stud. Hist. Phil. Mod. Phys.*, 28, No. 4, 1997, 523–35.

L. S. Schulman, *Time's Arrow and Quantum Measurement*, Cambridge University Press, 1997.