

力学における決定論と意識の自由について

——情報構造としての意識——

品川 嘉也

序 因果の必然と自由

自然科学における因果律は決定論的であると考えられて来た。これが正しければ、科学の描き出す世界像の中には、自由——とくに人間の意志の自由は、存在し得ないことになる。科学の決定論を否定できなければ、非決定論者は、自由の源を別の次元に求めねばならないことになる。これは、自然科学と哲学の間に横たわる難問として、これまで種々の解決が企てられて来た。

最近の自然科学は、決定論的な機械論的自然観に代って、世界を記述する人間を当の世界の内部に位置させて、世界を記述する段階に達している。そして、ごく最近の自然科学の成果は、その因果律が一義的ではなくて、数種の選択が可能な分岐点を持つことを示すにいたった。即ち、現代の科学は、決定論的な経路の処々に、非決定論的な自由な選択を許す分岐点が存在する、という世界像を描いているのである。

自然科学が、完全な決定論的世界像を放棄した上は、哲学も自由の源泉を再構築することができるのではなからうか。本稿では、この問題を科学の側から提起してみたい。

これが私の科学哲学の立場であるが、非決定論的科学については、Poincaré (一)(二) の非平衡非線型の熱力学によるものであり、因果律の選択性については湯川秀樹博士の教えに負って居る、また、非線型現象の数学的表現は山口昌哉博士の御指導によることを初めに記しておきたい。

一 古典力学における決定論

古典力学——ここでは Newton 力学を意味する——の描く世界像は、決定論的であると解釈されて来た。古典力学は Newton の運動方程式によって表わされる。これをいま質量 m の質点について書くと

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = f \quad (1)$$

となる。ここに x は質点の位置 (簡単のために一次元で表示する。以後も同様)、 t は時間、 $\frac{d^2x}{dt^2}$ は時間についての二次微分、 f は質点に働く力を表す。この方程式は微分方程式であるから、初期条件 (ある時点 t_0 における位置 x_0 と速度 v_0) が与えられれば、質点の運動は無限の未来にわたって一義的に決定されると考えられて来たのである。

この考え方を宇宙に適用すると Laplace の魔となる。すなわち、宇宙が創られたときの初期条件を与えれば、宇宙の物体の運命はすべて運動方程式によって一義的に定まって居り、宇宙は決定論的である。もちろん人間は、この無数の物体の運動方程式を解くことはできないが、無数の運動方程式を解くことのできる魔ものが居たとすれば、彼らには宇宙の運命も、その中の一人一人の人間の運命もすべて見通しである。この魔ものが Laplace の魔であり、十九世紀までの自然科学の与える宇宙観を表現している。

このような決定論的宇宙観を前にして、哲学者達は人間の意志の自由を説明するために、力学的因果律の支配する

宇宙とは別の次元の世界を考えることになった。

しかしながら現代の科学の眼で見れば、Newton の運動方程式が決定論的であったのは——あるいは決定論的に見えたのは——特殊なケースを扱っていたためである。逆に云うと、決定論的な問題だけを扱い、華々しい成功を収めて来たために、宇宙全体が決定論的に構成されているかの如き錯覚を生じたのである。古典力学の運動方程式は、決定論的問題を解くのに便利な形をしていたのである。

運動方程式が、初期条件を定めれば一義的な解を持つのは、方程式が線型である場合である。非線型方程式ではこれは保証されない。ここに線型というのは、方程式に含まれる変数がすべて一次式で表わされることで、運動方程式(1)についていえば、力 f が位置 x 、速度 $v \equiv dx/dt$ の一次関数であることを意味する。

非線型方程式では、初期条件を定めても解は一義的に決まらない。例として

$$\frac{dv}{dt} = \sqrt{v} \quad (2)$$

を考えよう。これは質量 1 の質点に速度の平方根で与えられるような力が働くときの運動方程式とみることができる。この方程式の初期条件 $v=0$ で $x=0$ に対応する解は

$$v = \begin{cases} 0, & t \leq a \\ (t-a)^2/4, & t > a \end{cases}$$

であるが、 a の値が一義的に定まらないので、この方程式は無限に多くの解を持つことになる。すなわち、この方程式で表わされる運動は決定論的でない。

それでは運動方程式(1)が線型で表わされる(力が一次関数で表わされる)のはどのような場合であろうか。答えを一言で云えば、線型近似が成り立つ場合である。

力学における決定論と意識の自由について

現実の世界では無数の物体が相互作用をしており、相互に及ぼす力も複雑であるが、古典力学では唯一の質点を抽象し、周囲の物体の及ぼす力はならして一つのポテンシャルで与えられるとする、云い換えると力学系は孤立系である。(孤立系等の意味については後に熱力学の項で検討する。また、もう少し拡張できることを示す。)力がポテンシャルを持つということは、エネルギー保存則を意味する。エネルギーが保存されるということは外界とエネルギーのやり取りがないということの意味し、孤立系があることを表わしている。古典力学が成功したのはこういう場合である。

次に運動方程式(1)を見ると、時間は t 、すなわち自乗の形で入っており、時間軸の向きを反転しても不変な形をしていることがわかる。これは、ある運動が存在すれば、それと時間軸を逆転した逆運動も必ず存在することを示している。これは熱力学の言葉では系が平衡に近い状態にあることを意味している。孤立系は、平衡かそれに近い状態に落ちつくことがわかっている。平衡に近い状態としては定常状態をあげることができる。線型近似の古典力学で扱われて来た系は、平衡か定常状態に落ちつく孤立系が大部分であった。平衡または定常状態にいたる過程は決定論的である。これが、古典力学が決定論的宇宙観を生み出した理由である。

二 相対性理論と自然の階層性

運動が本質的に相対的なものであり、座標系を指定しない限り、定義できないことは、Galileiによって既に把握されていた。座標系を指定するためには、基準が必要であるが、Galilei は時間を基準にとった。すなわち、すべての座標系に対して同一の時間が一様に経過する、という原理を選んだ。これが絶対時間である。絶対時間を基準として、Newton の運動方程式を不変に保つような空間座標系が指定される。

これが Galilei の相対性理論であつて、それは古典力学の枠組となる絶対時間および空間を規定する。カント哲学の時間空間の把握は、この絶対時間を基準としている。

座標系を指定する基準として、絶対時間に代つて光の速度を選んだのが Einstein の相対性理論である。(Galilei の相対性理論と Einstein の相対性理論の關係についてなじみのない方は、例えば文献 7 を参照されたい。尚本稿では簡単のために特殊相対性理論の範囲に限ることにする。)

Einstein の相対性理論が、古典力学と大きく違うところは、それぞれの座標系に観測者が意識を持つて存在することである。相対的に運動している観測者が、互に光によって信号を交わし、光の速度が座標系によって変らないとしたとき、Lorentz 変換が導かれる。これが光速不変の原理であつて、座標系を指定し運動法則を定める。相対論的運動方程式は

$$\frac{d}{dt} \frac{m_0 v}{\sqrt{1-v^2/c^2}} = f \quad (3)$$

となる。ここに、 c は光の速度、 m_0 は質点の静止質量である。この式は運動する質点の速度 v が光速 c に近づくとき質量が大きくなることを示しているが、また、速度が光速に較べて十分に小さいときは Newton の運動方程式に一致することも示している。

このように、世界を記述する基本となる運動方程式に、光速 c のような定数(この種の定数を普遍定数と呼ぶ)が現われることは、自然が幾つかの階層を持つことを示している。別の階層の例は、量子力学に現われる Planck 定数 h で示される。これについては次節で述べるが、自然の階層は、実は観測者にとつての階層であることがすぐわかる。すなわち、Einstein の相対性理論の世界は、光によって信号がとどけられるのに必要な時間が問題になるほど大きな距離、あるいは、同じことだが別の云い方をすれば、光速と較べられるほどに速い運動を対象としている。この世界

は、観測者が光による通信で情報を受け取り、それを意識することによって記述されている。云い換えると、記述される世界の中に観測者が位置している。その観測者は光通信の到着を意識できなければならぬ。光速 c で表現される階層性は、観測者の意識を媒介として実現するのである。

光速 c を無限大とした極限において、Einstein の相対性理論は古典力学に一致するので、前者は後者を包含する・より広い力学であるように見える。しかし、たしかにそのような一面があるが、すべてではない。日常的世界については、古典力学は決してその有用性を失ってはいない。古典力学の空間は Minkowski 空間であり、相対性理論の空間は Minkowsky 空間である。両者の関係はユークリッド幾何学と非ユークリッド幾何学の関係に対応する。どちらの力学を選ぶかは、いわばわれわれが「世界をどう見るか」に依るのである。

さらに Einstein の相対性理論でも、全宇宙を記述することはできない。Planck 定数の大きさが問題となるような微小領域では、別の力学、量子力学が必要となる。

三 量子力学と観測者の意識

量子力学は、原子、分子の世界を主な対象とする力学である。運動方程式に対応するのは Schrodinger 方程式で、質量 m の粒子に対して

$$\left\{ -\frac{\hbar^2}{8\pi^2 m} \frac{\partial^2}{\partial x^2} + U(x) \right\} \psi = E\psi \quad (4)$$

と書かれる。これは、例によって一次元の場合について表示してある。ここに \hbar は Planck 定数、 $U(x)$ は粒子に働く力のポテンシャル、 ψ は状態関数、 E はエネルギーである。この式は、Newton の運動方程式とは非常に違って見えるが、

$$-i\frac{\hbar}{2\pi} \frac{\partial}{\partial x} = p$$

(5)

(ただし p は運動量) という対応関係を置くと、(4)式は

$$\frac{p^2}{2m} + U(x) = E$$

(6)

と書いて、古典力学のエネルギー保存則となる。Schrödinger 方程式(4)を適当な境界条件のもとで解くと、エネルギー固有値 E と状態関数 Ψ の形が求められる。

状態関数が求められると、その自乗値 $|\Psi|^2$ は、粒子が状態 Ψ において存在する確率を与える。このように、量子力学の因果律は、完全には決定論的でなく、やゝゆるめられた形になっている。これを最も端的に示すのが、不確定性原理である。

いま、運動量 p の値を単独に Schrödinger 方程式から求めるなら、精密にばらつきなしで求めることができる。しかし、そのときは粒子の位置に関する情報はまったく得られない。全空間のどの場所についても粒子の存在する確率は同じになって了う。

逆に、粒子の位置だけを精密に求めようとすれば、やはりばらつきなしで正確に求めることができる。しかし、そのときの運動量は、ばらつき無限大となって了う。

量子力学においては、位置と運動量は同時観測不能量であって、両者を同時に求めようとすれば、両者共に一定のばらつきを許すしかない。その程度は

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \hbar$$

(7)

であり、これを不確定性原理という。云い換えると位相空間(x, p を座標軸にとって作られた空間)内の微小体積 h の内部では因果律は不確定である。量子力学の世界では、細部までは決定論的でない。

力学における決定論と意識の自由について

不確定性原理が、人間の意志の自由の源であるという説は Jordan によって量子力学建設の直後に唱えられた。この説は今日では完全に否定されているが、それは、 h の値が極めて小さいため日常的な尺度では問題にならないためである。 h の値が小さい(6.626×10⁻³⁴ エネルギ)ことは、逆に、日常的な世界での確定性を保証しているのである。実際、直径 2 μm の細菌やミトコンドリアは生物界では最も小さな構造体に属するが、光学顕微鏡の分解能ぎりぎりの 1 μm で観察したときの速度の不確定性は 10⁻⁴ m/sec に過ぎない。この程度のばらつきは完全に決定論的な解釈を許すであろう。

量子レベルでの不確定性を、脳のレベルでのばらつきに拡大するような装置は、これまで発見されていない。したがって意志の自由の源泉を不確定性原理に求めることは不可能であるが、力学の描く世界像が細部までは決定論的でないことを示した点にこの立場の意義がある。

次に Schrödinger 方程式(4)は、左辺がエネルギー演算子を状態関数に作用させた結果、右辺のエネルギー固有値 E が得られるという形をしている。すなわちエネルギーを観測して、その結果を求めるといふ形式であるから観測者が現われる。しかも観測を行なわないうときは、状態関数の表わす物質波の波束はぼやけており混合状態にある。それが観測を行なうことによって波束が収縮して純粋状態に移行する。これは明らかにエン트로ピーの減少過程であり、減少したエン트로ピーに見合った量の情報が観測者に得られるのである。この過程に観測者が介在しているからこそ熱力学の第二法則に違反しないのである。このようにエン트로ピーの減少は情報量の増加に等しいが、これについては次節で改めて論じることにする。

相対性理論と同様に、量子力学においても観測者が理論体系の中に現われるが、この観測者は観測対象に直接作用して観測結果をもたらす。相対性理論における観測者が、座標系を指定するときのみ現われて、物体の運動には直接干渉しないのと大きな違いがある。量子力学の観測者は、Planck 定数によって自然の階層性を認識するだけでな

く、観測対象のエントロピーを減少させる力を發揮する。

それでは、この観測者の実体は何であろうか、何がエントロピーを減少させるのであろうか。これについては先ず Neumann の理論^(八)をあげなければならぬ。量子力学では、観測者と観測対象の間の相互作用は制御不能であるが、観測者と観測対象の境界はどこに置いても数学的に等価であると Neumann は説く。この境界は、観測対象と観測機器の間に置いてもよく、機器と観測者の間に置いてもよい。何れにせよ、世界を観測者と観測される系に二分するとき、その境界はどこに移してもよい。しかれば、観測者の網膜、視神経も観測される系に移すことができる。観測は視覚的のみに行われるとは限らないから、聴覚が用いられる場合は聴神経まで、いや脳までも観測される系に移すことができる。こうして最後に残るのが抽象的自我である。

Neumann の抽象的自我は意識であると解されているので、それによって、量子力学はその体系内に人間の意識を相対性理論よりは強い意味で陽に含んでいることが、示されたことになる。

Neumann の理論は、量子力学における観測の問題として今も議論が続けられている。これは哲学的にも極めて重要な問題と思われるが、本稿の主題はそこにはないので以下は必要に応じてふれて行くことにする。一つだけ補足しておく、意識は量子力学に従う物理的実体か、という問題がある。Neumann の意見に従う限り、意識が物理的実体でないとするのは、理論体系に超越者を持ち込むことになり、物理学者の採り得ない立場であらう。そこで (i) 意識も量子力学に従う系と考える立場 (E. veit) ——ただしこの立場を認める物理学者はほとんど居ない——、(ii) 意識を記述できるように、量子力学を拡張しようとする立場 (Wigner)、(iii) 意識を陽に含まない形に量子力学を修正しようとする立場 (多数の試みがある)、(iv) 意識は量子力学のみでは記述できず他の分野の助けを必要とする^(九)と考える立場 (多数意見、筆者もこの立場)、が分かれてくる。詳しくは文献 (九)、(一〇)を見られたい。

重要なことは、立場 (ii) ~ (iv) は何れも量子力学の既存の体系を非整合的と考えているということである。

四 情報量とエントロピー

古典力学では、観測者を体系の内部に含まず絶対時間の概念によって宇宙を統一的に解釈することができる、とそう信じられていた十九世紀に、古典力学の絶対性をゆるがすような立場が徐々に形成されていた。すなわち、熱力学の立場である。一八六五年 Clausius は孤立系のエントロピーは決して減少しないことを指摘した。Boltzmann はエントロピーの不可逆的増大を、粒子の無秩序の増大の表現であると解釈した。ここに粒子集団の確率的状態の物理学が生まれ、古典力学を含むすべての力学とは異なった立場が誕生した。物理学者は、力学の可逆過程からいかにして熱力学の不可逆過程が導けるのか、と苦心したが、逆の立場もあってよかった筈である。熱力学の不可逆性から如何にして力学の可逆性を導けるか、という問題である。

いま体積 V の中に理想気体の球形分子が一個だけ存在する孤立系を考える。分子一個だけでも統計的集団であり、これは本質的な意味を持っている。すなわち熱力学の対象と考えるか、力学の対象と考えるかは観測者の立場にかかわっている。

簡単のためにこの系は無限に大きい熱だめに接しているとし、すべての過程は等温的であるとしよう。こうすると系のエントロピー変化は容積についてだけ考えればよいから

$$S = S_0 + k \ln V$$

(8)

と書ける。 S は系のエントロピー、 S_0 は系の標準状態でのエントロピー、 k は Boltzmann 定数である。いま、この容器に仕切を入れ、容積を $1/2$ に仕切ったとする。分子の存在する可能性のある体積は $V/2$ に減ったのであるから、エントロピーは $k \ln 2$ だけ減ったように見える。われわれは格別に仕事をしようとは思えないので、これは熱力

学の第二法則に違反するのではなからうか？

しかし、よく考えてみると仕切を入れただけでは、分子は仕切の右にあるか左にあるか判らないのであるから、分子の存在する可能性のある体積は V となり、今度はエントロピー変化ゼロとなってしまふ。このパラドックスがどこからもたらされたか、容易に判るのであろう。観測者が、粒子が左にあるか右にあるか知った時に（どちら側に粒子があるか意識したときと云ってもよい）、エントロピーは $S_{\text{前}}$ だけ減少するのである。

一方、情報理論の教えるところによれば、粒子が左にあるか右にあるかに関する情報の量は $\ln 2$ である。われわれが $\ln 2$ の情報を獲得すれば、エントロピーは $S_{\text{前}}$ だけ減少する。これを一般化すると、情報量 I は

$$I = \frac{S_{\text{max}} - S}{k \ln 2} \quad (9)$$

と書ける。ただし S_{max} は系の取り得る最大のエントロピーで今の場合(8)式で与えられる。 S は変化後のエントロピーである。

今でも情報量はエントロピーとは別の量だと思っている人が、物理学者にも居るらしいが、元来エントロピーになぞらえて情報量が導入されたので、両者は同じもので符号と単位だけが異なる。(9)式は両者の換算式に過ぎない。同じものではあるが、しかし情報量という概念を導入しておくとな非常に便利で、観測者が情報量を受け取ったことよってエントロピーが減少することを説明し易くする。

それでは、この例になぞらえて、量子力学において観測者が（あるいは意識が）測定による情報を受け取ることにより、波束が収縮してエントロピーが減少することを理解できるのであろうか。このアナロジーは確かに成立する。しかし本質的に違った点もある。量子力学では観測者と観測対象の相互作用は制御不能であるから、相互作用の過程は明瞭に描くことができない。それに反して、今考えている系では古典的な分子を扱っているので、観測過程を描き

出すことができる。

粒子が左にあるか右にあるかを知るには、前に入れた仕切が壁に沿って滑らかに動くようにしておけばよい。われわれは仕切が右に動いたか、左に動いたかを見ることにより、分子が左にあったか右にあったかを知ることができる。この結果は、分子は外界に対して $kT_{1/2}$ だけの仕事をし、エントロピーは $k \ln 2$ だけ増加して元の状態に帰る。このことから、観測者が、分子が容積の $V/2$ の左の小室にあるか右の小室にあるかを観測するのに必要な、最小の仕事量は $kT_{1/2}$ であることがわかる。すなわち観測に使った仕事量とエントロピーの減少量は丁度みあっている。観測過程に不可逆な部分が含まれていれば——たとえば仕切の動きが滑らかでなければ摩擦によってエネルギーが失われ——観測に要した仕事量はエントロピーの減り高よりも大きくなり、全体としてエントロピーは増大する。

本節のモデルは Szilard 文献 (一一) による。もちろん Szilard の時代には情報量の概念はなかったので、情報理論による解説は文献 (七) に書いておいた。さて、このモデルからもう少し教訓を引き出せようである。

Szilard のモデルでは、体積を $1/2$ としたが更に体積を小さくして行くと、エントロピーはさらに減少し、得られる情報量は大きくなって行く。観測に必要な仕事量も、もちろんそれに伴って増大する。その極限では分子の位置が確定する、すなわち古典力学的観測に一致する。また $kT_{1/2} = mv^2$ である。(分子一個だけであるから平均操作を必要としない。) 位置と運動の速さが観測され、そのときこの系のエントロピーは最少、得られる情報量は最大である。^(註)

註 気体の体積を小さくして行った極限で、気体分子の位置を確定する方法の代りに、分子に光を当てて観測する方法をとっても結果は同じである。すなわち、孤立系の内部は一樣な黒体輻射で満たされているから、光を当てなければ分子を見ることはできない。光を当て続けるためにはエネルギー消費が必要である。これは Maxwell のデモンに対する Brillouin の解と同じである。(詳しくは、井上章、品川嘉也編「一九六九『能動輪転』南江堂。分子の位置については不確定性原理があるので、分子の温度と最初の容積で決まる位相空間の体積を Planck 定数で割った値でエントロピーの減少高が決まる。すなわち、このモデルには熱力学と古典力学、量子力学という立場を異にする三つの科学が集約されている。

観測に必要なエネルギーは、その観測によって得られる情報量——あるいはそのために起こるエントロピーの減少——に相当するかそれより大きい。これはもつと巨視的な系についても当然あてはまる。滑かな床の上を運動する質点を観測するには、現実の床の摩擦によって失われるエネルギーを補うことでこれを孤立系としている。惑星の運動を決定論的に論じるためには、孤立系とみなさねばならないが、そのためには各種の力によって起こるエネルギー散逸を補わねばならない。

これで古典力学においても観測によって対象のエントロピーが減少することがわかった。これは量子力学の場合と同様である。エントロピーの減少により観測者は情報を獲得し、観測の主体が観測者の意識であることも同様である。量子力学の場合と違っていることは、観測者と観測対象の相互作用は制御可能であって、不明の擾乱を与えることはない点である。

このように古典力学においても、理論によって記述される世界の中に観測者が位置していたのである。ただ古典力学の運動方程式が、観測者の存在を陽に含まないだけである。観測者とその意志は、いわば隠されたパラメーターとして、古典力学にも含まれていたのである。

五 内部に人間を位置させる理論は決定論的ではあり得ない

世界を記述する人間をその世界の内部に位置させて、その世界を理解しようとする理論は、すべて決定論的ではあり得ない。いま、ある理論が世界像を描き出し、その描かれた世界の中に人間が居るとする。その世界は、人間が自由意志を持つ限り、決定論的ではない。

これは自明の原理であると思われるが、これまであまり注意されていなかったようである。人間が自然を外から支配し、自らは記述する自然に属さないという考え方が「普遍的な」理論を求める思想のどこかに存在するのも知れ

ない。人間の恣意によって、自然の法則が変えられてはならないという思いが拡張解釈されたのかも知れない。何れにせよ、自然科学といえは普遍的決定論的な理論体系であるという幻想がいままで通用して来た、と云つたら云い過ぎであらうか。

古典力学が決定論に見えたのは、単にみかけだけのことに過ぎない。古典力学においても、観測者としての人間を必要とすることは、実は明らかであった。観測者は古典力学の中にも現われているのであるが、さりげなく、部外者のような顔をして写っているので、世界像の中に人間が写っていることに気がつかなかつただけである。Newtonの運動方程式には普遍定数も現われないし、観測を直接に表現する演算子も現われないが、観測対象となる系のエントロピーを最小にしている。最大の情報量をひき出すために人間が、観測と名付けられる仕事をしているのである。

エントロピー最小の状態は、曖昧さの最も少ない状態であり、系の全運命を知ることのできる状態である。無限の過去から、無限の未来にわたつての運命を知ることができたとき、われわれはその系を決定論的と呼ぶ。古典力学が決定論的に見えたのは、決定論的な対象を選んで観測対象とすることが多いためである。決定論的な系は、無限の時間にわたつて観測下に置かれていなければならない。そのような系は、必然的に「孤立系」である。(厳密には定常系。次節参照)開放系では、観測している粒子は、何時かは系外に逃れてその後の運命が見失われるであらう。また未知の粒子が流入して来て、系の状態を予測不能に変えてしまうかも知れない。非決定論的な系はこのような系であり、人間自身は開放系なのである。

六 平衡に近い系は決定論的である

平衡状態ではエントロピーの生成はゼロであり、系の状態は時間によらず一定である。したがって、ある系が一定

ん平衡状態になると、その系は無限の未来にわたって平衡状態にとどまる。これは決定論的である。平衡系は、時間的にも空間的にも構造を持たず、エントロピーは最大値をとり、情報量は最小値をとる。(9)式では、このときの情報量をゼロと置いてあるが、これは平衡系の情報量を原点に取るという便宜の問題に過ぎないことに注意すべきである。Sillard のモデルについて云えば、平衡状態においても系の巨視的熱力学変数については、系の温度、容積および質量についての情報は得られる筈であり、その時の情報量を量の原点にとつてある。情報量ゼロというのは、系の内部についての知識が何も得られない、という意味である。

孤立系は、十分に時間が経てば必ず平衡に達する。孤立系ではエントロピーは常に増大し、エントロピー最大の状態、すなわち平衡状態に到達する。孤立系の運命も決定論的であると云える。

平衡系における変化は、エントロピー変化がゼロであるから、可逆的である。可逆変化は、準静的変化とは限らない、力学的変化もそうであり、逆行可能である。^(二二)これらの性質は、力学の決定論的可逆的性格とよく似ている。しかし、これを以て、力学系は平衡系であると断定できないことは、平衡系がエントロピー最大の状態にあるのに力学系はエントロピー最小であることから明らかである。

力学系が平衡に近い状態であることも明らかであるから、「平衡に近い」という概念をもう少し拡張しなければならぬ。それが定常状態である。

平衡系のもう一つの著しい性質は、平衡から少しだけ離れても間もなく平衡状態に帰るといふことである。平衡から僅かに離れた系も決定論的である。定常状態も同じ性質を受け継いでいる。定常状態から少しだけ離れた系は、間もなく定常状態に帰る。これを Le Châtelier-Braun の法則と云う。定常状態も時間によって系の状態が変化しないから、定常状態またはそれから僅かに離れた系も無限の未来にわたって決定論的である。

定常状態は、常に一定の外力が働いている条件での「平衡」とみることが出来る。平衡がエントロピー変化ゼロで

規定されるのに対して、定常状態はエントロピー生成速度極小で規定される。極小値がゼロとなった極限が平衡状態である。系内でエントロピーが生成されるので、常にエントロピーを系外に運び出していなければならぬ。したがって系内にはエントロピー流または熱流が存在する。平衡系でも、熱の出入は可能であったが、エントロピーの生成がないので、現実の熱流はなかった。定常状態では、外力が働いているのでその外力に共役な物質の流れ(出入り)が存在し得る。ただし系内の物質量は時間的に一定であるから、流出量と流入量はつり合っていなければならない。これは基本的には開放系であるが、カッコつきの孤立系である。厳密な意味での孤立系に対しては、われわれは観測の手段を持たない。平衡系から得られる情報量が最小であったのもこの意味においてである。むしろ、完全な孤立系は現実には存在せず、内部状態に擾乱を与えない範囲での観測は可能である。ブラックホールでさえ、その質量、角運動量、電荷といった巨視的変数は観測可能である。

孤立系に、内部状態の観測という窓口を開けたのが定常状態系であるとも云える。

力学系は、内部に運動が存在しても、系全体としての巨視的状态は不変であるか、または一定の定常状態に向かう。すなわち、力学系は、観測という外力のもとでの定常系であると解釈することができる。SILVERMAN のモデルについて云えば、時々刻々の分子の位置が明らかにされている状態は力学系であり、最大の情報量が取り出され、エントロピーは最小となっている。これは観測による仕事量が常に与えられている状態であり、分子の位置が常に確認されている。定常状態においても、運動は可逆的であり逆行可能であることがわかる。

現実の過程はすべて不可逆である。床の上に置かれた質点の運動という最も簡単な系でも、摩擦によるエントロピーの生成がある。それを「滑らかな床」という仮定を設けることによって、生成したエントロピーを系外に捨てているのである。観測という名の仕事を人間がすること、系内のエントロピーを最小に保っているのが力学系である。観測の仕方を選ぶのは人間の意志であり、観測の結果は人間の意識に反映される。

この限りにおいて力学は決定論的である。力学は、本来決定論的ではなくて、決定論的とみなせる系を選び、常に観測者が系に立会っている限りにおいて決定論なのである。相対論的力学においても、この事情は同じであって、観測者は座標系を指定するときのみ普遍定数 c を伴って陽に現われるが、その後も、決定論的系を問題としている限り、陰に系に立会っているのである。

量子力学では、この事情はもっと明瞭である。系の状態を表わす波束は、観測を行なわなければ時間と共に拡がって行き、エン트로ピーは常に増大する。観測を行なうことにより、波束は収縮しエン트로ピーは減少する。観測によってどのようにして観測対象に仕事量が与えられるか、その考え方によって観測の理論の立場が分かれることは前に述べた。多数意見は、量子力学のみでは記述できない、ということであった。これは実は熱力学（詳しくは統計熱力学）の援けを必要とする、という立場である。人間の意識と観測対象の間には熱力学的相互作用が介在するという立場である。筆者もこの立場であることは本節の議論に見られる通りである。意識と観測対象との接点はどこに移してもよかつた。^(ハ)われわれは観測装置として熱力学的系を利用することができる。

実は、古典力学においても、量子力学と同じ観測の問題が隠されていた。古典力学の観測によってもエン트로ピーは減少し、それは観測者の意識にかかわっていたのである。

七 非線型現象は非決定論的である

前節で平衡に近い系として、平衡系と定常系を示し、何れも決定論的であることを述べた。決定論的である理由は、常に人間の意識が立会っていることにある。次には、平衡に「近い」という言葉の意味を述べねばならない。それによって「平衡から遠く離れた」系の意味が明らかとなり、そのような系が非決定論的であることが示される。それが

力学における決定論と意識の自由について

非線型性である。

系の状態を表わす関数として、エントロピー生成速度 ϕ をとる。これは系に働く力の関数である。力は一般化力で力学的力だけでなく温度差のようなものも含む。いま簡単のために種類の力 f だけを考へる。 ϕ を f の冪級数に展開して

$$\phi(f) = \phi(0) + \frac{\partial \phi}{\partial f} f + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 \phi}{\partial f^2} f^2 + \dots \quad (10)$$

と書ける。平衡状態は $f=0$ で $\phi=0$ であるから $\phi(0)=0$ を意味する。定常状態は、右辺第二項までとった場合に相当する。このとき $f \frac{\partial \phi}{\partial f} = \phi$ の線型関係が成立し

$$0 = \phi = f \frac{\partial \phi}{\partial f}$$

すなわちエントロピー生成速度は非負で、この値が極小値である(詳しくは文献(二)参照)。定常状態を線型領域と云う。力学系でも力 f がポテンシャル $U(x)$ を持つときは、運動方程式は線型である。これは量子力学の Schrödinger 方程式でも同様であり、線型方程式で表わされる。ポテンシャルを持つことは、エネルギー保存則が成り立つことを意味し、系は定常状態または平衡にある。力学系においても、線型方程式で表わされる場合は定常状態である。

(10)式において f の値が小さいときは、 f^2 以上の項を無視できて線型領域に入るが、 f の値が大きくなると自乗以上の項が無視できず、非線型領域となる。これが平衡から遠く離れた系であり、非線型非平衡系と呼ばれる。非線型非平衡系には、一般に時間が経てば平衡または定常状態に落ちつくという保証はない。

簡単な例について考へよう。直方体の容器に理想気体が入っている。容器の一面が低温の熱源に、それと向い合った面が高温の熱源に接しているとす。温度差が小さければ、系内には一様な温度勾配が作られ、気体分子は温度に応じた密度分布をし、充分時間が経てば定常状態となる。この系には温度差という力が働き、その力に共役な流れで

ある熱流だけが存在する。平衡のときと違って、気体の分布は一樣等方的ではないが、この気体分布はふつうは構造とは呼ばない。

温度差が大きくなると気体にも流れを生じ、気体分子が熱を運搬するようになる。こうして力に共役でない物質流が生じる。今の場合は対流であるから、一種の渦を生じ空間的構造ができたことになる。対流の流れ方は、一般には予言不能で容器の形や温度の一寸した不均一さに大きく影響されることは、経験によって知られる通りである。すなわち、対流の構造は非決定論的である。

この例では力として温度差だけを考えたが、他種の力が大きく働くときは物質流が系の境界を越えて起り、物質の出入りが起り物質量も保存されないことが多い。それは非定常な開放系である。

生物体は、一般に生老病死を伴う非定常開放系であって、その運命は非決定論的である。人間の意識も、このような生体に担われているものとして非決定論であり自由度を持っている。

八 生態系における偶然と必然

ある地域に棲む生物種の個体数 N が、雌雄の出会いの数に比例した増加速度を持ち、個体数に比例して死亡すると仮定すると、次のような非線型微分方程式が得られる。(Volterra, 文献④による。)

$$\frac{dN}{dt} = \lambda N^2 - \epsilon N \quad (11)$$

この方程式の導き方は有性の動物については極めて合理的に見えるが、その解はかなり意外なものである。初期条件を $N=0$ と $N=N_0$ とすると

力学における決定論と意識の自由について

$$N = \frac{N_0}{(1-h)e^{ht} + h}, \quad h = N_0 \lambda \quad (12)$$

となるが、 $N_0 \wedge e/\lambda$ のときは、 N は逆 S 字状に減少してゼロに近づき、種の絶滅を表わす式となる。 $N_0 \vee e/\lambda$ であるとき、ある時刻

$$t_{\infty} = \frac{1}{e} \ln \frac{N_0 \lambda}{N_0 \lambda - e} \quad (13)$$

に近づくに従って、 N は無限大に近づき、個体数は爆発的にふえる。解の爆発である。このような解は無意味だと思われるかも知れないが、世界の人口の増加曲線は、ほぼこの爆発解に一致しており、西暦一〇四〇年頃に無限大に達するとみられるのである。⁽¹³⁾

むしろ物理的に無限大が実現するわけではないので、極端な人口増加の後に質的に異なる局面に転換するであろう。それは一種のカタストロフィーであって、人口激減となるか単なる増加の停止となるか、それがどのような形で来るか、この方程式から予測することはできない。予測不能ということは非決定論的と云えるので、線形方程式が初期値を与えれば無限の過去から無限の未来まで予測できると著しい対照をなしている。

この方程式(13)の解は、初期値 N_0 が一定の閾値 $\text{threshold}(e/\lambda)$ より大きいか小さいかで、質的にも全く異なる径路をたどる。

$$N = e/\lambda \quad (14)$$

もこの非線型微分方程式の解であり、不安定平衡解である。初期値が e/λ に等しければ、この解は数学的には無限の時間にわたって同じ値に留まる。現実の問題としては、偶然の機会に、個体数が僅かに殖えれば爆発解をたどり、僅かに減少すればゼロに漸近するであろう。すなわち $N = e/\lambda$ となった系は、必然の一筋の径路を進むのではなくて、質的に異なる二つの径路の何れかに分岐する可能性を持っている。それらの何れの分岐に進むかは、この方程式の中

では決めることのできない偶然によっている。しかし、一度分岐が選択されるとその後しばらくは必然の径路に従って進むことになる。爆発解に沿って進んだときは、恐らく n に達する以前に、別の方程式で記述される別の分岐点に出会うであろう。

本節で述べたモデルは、単なる数学的虚像ではなくて生態系の性質をある程度まで反映していると考えられて来ている。世界を、因果の糸で結ばれた決定論的な像として描くのではなくて、偶然と必然の織りなすあやとして描く方が、現代の自然観によく合っている。

さらに人間の意志の自由が、この世界像とよく合っていることに注意しなければならない。人間は、運命の必然の糸にあやつられる哀れなビエロでもなく、無限の自由を持った自然界の支配者でもない。われわれは、ある分岐点では有限個の選択肢のうちの一つを選ぶ自由がある。一つの分岐を選んだ後は、ある有限の時間、次の分岐点に到るまでのあいだ、世界の法則性に従って必然の道を歩まねばならない。

世界は決定論的でないと考える宇宙観の方が、宇宙を構成する一員としての人間に自由を保証してくれるのである。

九 生物の進化と宇宙

決定論的な宇宙観がまだ有力であると信じられている時代には、生命の起源や生物の進化、人類の出現の必然性を説明しようとして生物学者は四苦八苦していた。とりわけ分子生物学者は、自らが、生物の多くの現象を分子の言葉で説明できることを証明したので、分子の科学である物理化学の「決定論」と生物の非決定論的行動のはざままで苦悩することになった。分子生物学者の Monod^(一四)はついに、生命の起源も人類の出現も完全な偶然に過ぎないと叫ぶに到った。彼は生命の発生する確率を「計算」して、それがほとんどゼロに近いことを見出し、地球上の生命は宇宙の歴史

史の中で「唯一無二」であると考えた。彼の誤りは、生命の発生が力学的決定論に従うと考えて計算したところにある。その後の僅か十年の科学史は、彼の理論を遠い過去のものとして葬って了った。現在の宇宙科学者の多くは、われわれの銀河系には百億の「地球」があり、そのうちのかなりの割合に生物が発生し、全宇宙では10¹⁰個を越える星に生命が存在したと考えている。Monodの著書^(一四)が無意味なことは、「進化の不可逆性を、生物圏における熱力学第二法則のひとつの表現とみなすことは、きわめて正当なことである」というくだりにみられる。

反対に筆者は以前から「進化とは情報量を増すことだ」と考えて来た。同じ考えを杉本^(一六)が書いているので、かなり一般的な考え方かも知れない。杉本は、進化を遺伝情報の量の増大としているが、しかし、遺伝情報量は脊椎動物まで増え続けているものの、両生類でピークに達し、カエルは人間よりも遺伝子のDNA量が多い。一方、神経組織は両生類以後急速に大きくなるので、遺伝情報と神経情報を合わせた個体の情報総量は、進化と共に大きくなっている。^(一五)注意すべきことは、生物情報量の増大は、常に情報の容れ物の増大で起っていることである。(9)式をもう一度書いておくと

$$I = \frac{S_{max} - S}{kln2}$$

における S_{max} の増大である。細胞のDNA量の増加、次いで神経細胞数の増加が、生体のとり得るエントロピーの最大の値を大きくして来た。生体分子の秩序度を大きくしてSの値を小さくする過程は、生命の起源の当初には起った筈であるが、化石生物以降の進化史の中では実証されていない。

平衡系では常にエントロピーは最大値をとるから $S \parallel S_{max}$ となり、 S_{max} の増大による情報量の増大はあり得ない。 $S_{max} \setminus S$ は非平衡を意味する。それは定常系でもよく、かつては生体を定常状態で近似することが多かったが、しかし生体に働く力は一定ではなくて多種の力が複雑に変化している。生体は第七節で見たように非定常開放系であ

る、すなわち、平衡から遠く離れた系である。平衡から遠く離れた分枝上で、エネルギー散逸を常に伴う秩序構造として、体が形成されている。

以上は生物の個体当りの情報量の増大であったが、生物圏全体としても情報量は増大している。これも第一に、個体数の増加による情報量の増大である。しかしながら個体数の増加は、生物とその環境全部を含めた生物圏の拡大に依るものである。拡大された生物圏に進出するために、新しい種が創られたと考えられているが、生物圏全体としても、領域の拡大による *Species* の増大と内部の情報量増大が多様性をもたらしたと解釈できる。情報量の急激な増大は、複雑な構造を作り出し、構造の多様性は系の安定に寄与するのである。

生物圏の拡大は、新しい領域への生物の進出によってもたらされたが、より大規模には生物自身が環境を作りかえることによってもたらされた。緑色植物が光合成により O_2 から分子状酸素と有機化合物を作り出し、 CO_2 という熱平衡から遠く離れた O_2 を含む大気を作り出し、地球上の生物圏の情報量を著しく増大させた。

さらに地球を含む太陽系そのものが、宇宙の中の平衡から遠く離れた系である。宇宙の熱平衡—熱的死—はブラックホールであるから、太陽のような恒星系は非定常開放系である。もちろん人間の一生に較べれば、太陽系は定常系で、生物学的スケールでなら太陽系は定常状態であるという近似が使える。生命の起源と人類文化の将来を考えるときに初めて、太陽系の歴史が問題になる。

太陽系やその内部の生物圏のような平衡から遠く離れた系を、部分系（開放系）として含んでいる宇宙全体もまた平衡から遠く離れた系である。熱平衡から遠く離れていることが、銀河系や太陽系のような・情報を持った内部構造の秩序を作り出している。

これは宇宙全体が、断熱壁に閉じ込められた完全な孤立系ではないことを意味する。宇宙はビッグバン以来、光速あるいはそれに近い速度で膨張を続けている。宇宙は膨張することによりエントロピーを増大させるが、それ以上に

Smarr を大きくし、内部に情報を持った構造を作り出して来た。

宇宙の膨張が、生命の起源と進化、人類の出現をもたらした第一の原因である。そして生命体を内包する宇宙像は、非線型非平衡系の科学によって、非決定論的な歴史像として描き出される。宇宙の膨張によって作られる構造は *Prigogine* が散逸構造と呼んだものに相当するが、この名称は適當かどうか分からない。散逸構造は、エネルギーの散逸に伴ってエントロピーが減少し、内部構造が作られることを指している。しかし宇宙全体をとるとエネルギーは保存すると考えられる（少くとも宇宙外に散逸が起ったという証拠はない）ので、散逸構造と呼べないことになる。また意識構造のような高次の構造になると、エネルギー散逸との関係は直接的ではない。一般に散逸が構造形成の直接の原因ではなくて、情報の蓄積が直接の原因であるからここでは仮に情報構造と呼ぶことにする。

力学的決定論的宇宙観は、宇宙を孤立系ないし定常系で近似したときのもので、人間を内部に位置させた現代の宇宙観としては、完全に時代遅れのものとなってしまった。

十 情報構造としての意識の進化

物質進化の過程において原子が作られた。原子そのものが重力崩壊という平衡状態から遠く離れた系であり、情報を持った構造である。宇宙の歴史は、原子から分子を作った。分子はさらに情報量の多い構造であるが、分子進化は、より情報量を増加させる方向に進んだ。その極限が生体高分子であり生命の起源である。すなわち、大量の情報を保存する自己増殖系の出現である。

遺伝情報として書き切れないほど情報量が増加すると、記憶装置として神経系が利用されることになり、脳の進化が始まる。情報保存の方法として、遺伝に学習がつけ加えられることになる。学習によって外界に適應するためには、

外界の認識が必要となる。外界の認識はより多くの情報をもたらすので、ますます多くの情報が獲得される。外界の認識が、意識の進化の第一段階と考えられる。それは進化の段階を経て、自己の認識、外界の中における自己の認識、自己をその中に含む宇宙の認識へと進んだ。

大量の情報を持った構造としての脳と、その機能としての意識が組織される。脳は情報によって——平衡から遠く離れた系として——作られた構造として出発し、情報の器官として進化した。意識が外界から情報を獲得する過程は能動的であり、エネルギーを費って観測対象に仕事量を与える。観測対象とエネルギー的相互作用を行なう過程は、必然的に物質的であり、物質系としての生体とその機能としての意識を区別することはできない。それは観測対象に仕事を加えて、孤立系に近い状態に置いて決定論的観測を続けることができる。これが力学における観測である。

獲物を孤立系に追い込み決定論的に追いつめる能力は、生存競争の上で獲得されたものである。その中から法則性を発見し、論理的体系を築いたものが力学的世界観である。しかし決定論的観測を永久に続けることはできない。観測を逃れた系には、多種の力が複雑に変化しながら働き、決定論的描像は失われる。どの対象をどれだけの間観測するかは、脳の選択にかかっている。意識には、それに伴う自由度がある。

脳そのものは、平衡から遠く離れた非決定論系であり、脳の機能としての意識は非決定論的である。開放系である脳の意識を、それだけを取り出して生体から切り離して考えることは意味がない。平衡から遠く離れた系は分岐点を持ち、分岐点では有限個の選択肢のうちの一つを選んで、次の分岐点まで必然の法則に従って進む。どの選択肢が選ばれるかは外部からは知ることができず、偶然であると思える。脳の行動の場合は、意志の自由をこの形で表現することができる。すなわち非線型非平衡の科学で人間の行為を記述することが可能である。

脳の行動を、孤立系に近い状態に置いて決定論的に観測する方法は今のところ存在しない。脳の素子、シナプスは少く見ても一千億個はあり、そのすべての状態を知る方法はない。また人間の脳に対して、入力を制御するよい方法

がない。入力を最小にした脳は眠り込んでしまふであろう。脳のすべての状態を知って、その人が何を考えているかを云い当てる悪魔を筆者はアマンジャクと名付けた。^(一七) われわれは今のところアマンジャクを持たないし、将来、脳の決定論的観測が可能になったとしても、脳の選択の意味を明らかにすることはできないであろう。

決定論的世界像は、意志の自由となじまないが、現代の科学は、宇宙を非決定論的な偶然と法則性の織りなすあやと見ている。自然科学は、総体として、人間の科学となったのである。 (一)

文献

- (一) I. Prigogine & R. Lefever. (1975)
 "Stability and self-organization in open system." in *Membranes Dissipative Structures and Evolution* (ed., by G. Nicolis & R. Lefever) Wiley, New York.
- (二) G. Nicolis & I. Prigogine. (1977)
Self-Organization in Non-equilibrium System. Wiley, New York.
- (三) 湯川秀樹、園原太郎、市川亀久弥、坂井利之、亘弘、品川嘉也(一九七三)「人間・機械・創造」(『創造の世界』、第九卷七四—九三頁)
- (四) 品川嘉也。討論者 湯川秀樹、園原太郎、市川亀久弥、中川迷造、井上健、亘弘(一九七三)「医学概論——科学論としての医学の哲学」(『創造の世界』、第十一卷 四〇—六五頁)
- (五) 山口昌哉(一九七二)『非線形現象の数学』朝倉書店
- (六) 品川嘉也、山口昌哉(一九八〇)「膜電位方程式の厳密解について」(第二回日本膜学会)
- (七) 品川嘉也(一九七六)『医学・生物系の物理学』培風館
- (八) J. v. Neumann. (1932) *Die Mathematische Grundlagen der Quantenmechanik*, Springer, Berlin.

- (㉑) 柳瀬睦男 (一九七二) 「量子力学における観測問題」(『日本物理学会誌』二六〔十一〕八三五―八四三頁)
- (㉒) 町田茂、並木美喜雄 (一九八一) 「量子力学における観測理論」(『科学』五一〔一〕三六一―四五頁)
- (㉓) L. Szilard. (1929) *Z. Physik*, Bd. 53, 文獻(八)に於て。
- (㉔) 河島幸彦 (一九四八) 「熱力学」(伏見康治編『量子統計力学』所収) 共立出版
- (㉕) M. Eigen und R. Winkler. (1975)
Das Spiel, Piper & Co., München.
- (㉖) J. Monod. (1970)
Le Hasard et la Nécessité, A. A. Knopf, Paris.
- 渡辺、村上訳、『偶然と必然』(一九七二)みすず書房
- (㉗) 品川嘉也 (一九八一) 『第6の頭脳』創拓社
- (㉘) 杉本大一郎 (一九八一) 「進化の熱力学」(『科学』五一〔六〕三四四―三四九頁)
- (㉙) 品川嘉也 (一九七二) 『脳とコンピュータ』中公新書

(筆者 しがわ・よしや 京都大学医学部〔生理学〕助教授)

Therefore we must conclude that the choice between the weak left thinning rule and the strong one, together with the notion of commutability, is crucial for the construction of quantum logic. Why cannot we say that the choice of the kind is a logical principle?

(4) The law of contradiction of the form: $\varphi \wedge \neg \varphi \rightarrow$ is accepted by all classical, intuitionistic and quantum logics. In this sense we can take it for a logical principle and we can say that its status is fairly stable. On the other hand we have the logical systems such as intuitionistic and pseudo-orthomodular logics which do not admit the law of excluded middle. It is difficult to refute the systems of this sort as *il-*logical, thus the law is not so stable as the law of contradiction.

(5) The fundamental question which quantum logic raises is the legality of the notion of commutability. Must we refuse to introduce such a strange notion as 'mutually commutable sentences', but by what reason? The author cannot find any definite reason for the refusal. If we accept the notion, then we will be able to produce a new sort of *logic* and the notion of logic will change. Therefore we may just as well say that the logical principle, which forms the basis of construction of logical system, has changed. The logical principle is no more so stable nor so certain as Aristotle claimed.

Determinism of Mechanics *vs.* Freedom of Consciousness

— Consciousness as Informational Structure —

by Yoshiya Shinagawa
Associate Professor of Physiology,
Medical School, Kyoto University

Mechanics, the classical mechanics, the theory of relativity and even

the quantum mechanics, have provided a deterministic picture of the cosmos. The freedom of human will conflicts with the determinism. It has been a difficult problem in philosophy that men with free will exist in the deterministic cosmos.

In this paper, it is shown that the deterministic character of the mechanics comes from observations on the ensemble close to isolated system, in the stationary state. Most of the Newton equations of motion and the Schrödinger equations are the linear differential equations which have the unique solutions of determinism. The uncertainty principle of quantum mechanics cannot be a basis of the freedom of will because the uncertainty is limited inside the range of h , the Planck constant. The linear equations are originated from the potential of force, which means the energy conservation. The energy conserving system is isolated.

The theory of observation in quantum mechanics (Neumann) showed that the consciousness of observer makes the pure state and decreases the entropy of the observed system. The author showed the same matter in the classical mechanics; the observation in the classical mechanics makes the observed system isolated one or minimum entropy producing system, and decreases the entropy. This manner of observation gives the maximum information of the system, I (in bits), as

$$I = (S_{\max} - S) / k \ln 2$$

where S_{\max} is the possible maximum entropy of the system, S the reduced entropy and k the Boltzmann constant. The consciousness of observer selects the manner of the observation, which is the work done on the observed system.

The dissipative structure by Prigogine means that all ordered structures are originated from the reduced entropy, S , by energy dissipa-

tion. The system with the maximum entropy, S_{\max} , is in the equilibrium. The system far from the equilibrium which has the large value of $S_{\max} - S$ has the structure. Such a system far from the equilibrium is described by a non-linear equation and is non-deterministic.

However, the whole universe cannot have the energy dissipation. Instead of the dissipation, the expansion of the universe with light velocity increases the maximum entropy, increases the information contents and makes the structure. Thence, the ordered structures in the universe are tentatively named informational structure.

The living organisms and the human consciousness are the informational structures in the universe. The universe is non-deterministic. The consciousness has freedom in the non-deterministic universe.

Sur la théorie de la création des vérités éternelles chez Descartes

par Kiiko Hiramatsu
Etudiante de recherche
à l'Université de Kyoto

Descartes, philosophe du «Cogito», fait aussi partie des physiciens qui ont fait la Révolution Scientifique du XVII^e siècle : c'est lui qui a formulé avant Newton la loi de l'inertie sur la ligne droite et découvert la loi de la réfraction indépendamment de Snell. Ces deux aspects de la personnalité de Descartes, le savant et le métaphysicien, sont tout à fait liés. Cependant Descartes jeune a étudié les phénomènes physiques sans faire de rapport avec leur fondements métaphysiques. On pourrait faire remonter le lien entre la physique et la métaphysique dans le système philosophique de Descartes au plus tôt, à l'hiver 1629-1630. En effet c'est le moment où il a décidé d'expliquer «toute la