2008年度博士学位請求論文

# 偶然と確率の哲学

東洋大学大学院 文学研究科 哲学専攻
博士後期課程3年 4110050001

後藤 勇

2008年度博士学位請求論文

# 偶然と確率の哲学

東洋大学大学院　文学研究科　哲学専攻

博士後期課程３年　4110050001

後藤　蔚

# 偶然と確率の哲学

## 偶然と確率の哲学

### 序

この世界において、全ては予め決っているなどということはあり得ないだろう。逆に、一切は出たとこ勝負ということもありそうにない。では、どうなのか。つまり、この世界で、物事は必然的に生起するのでもなければ、偶然的に生起するのでもないとすれば、それはどういう事態なのだろう。

この世界に偶然ということはないという見方は古くから存在する。詳しくは本文で見るように、P.S.ラプラスは偶然を我々人間の無知に帰するし、H.ポアンカレは或る特殊なタイプの現象が我々には偶然と見えるだけだと云う。そういう決定論的世界観が揺らいだのは量子力学の登場によってであった。N.H.D.ボーアを中心とするコペンハーゲン学派は、「波動関数の確率解釈」を主張する。しかし、A.アインシュタインやE.シュレーディンガー、D.ボームらはそうした考えに反対した。アインシュタインの「神は骰子を振らない」という言葉はよく知られている。

ボーアらの確率解釈は、それが正しいとしても、原子や分子というミクロな世界における話である。しかし、その後、量子力学とは独立に発展したいわゆる非線形科学は、我々人間と等身大の世界の至るところに「偶然性」が見られることを明らかにした。要素を知れば全体が分るというのが従来の科学の見方―要素還元論―であるが、それは「重ね合わせの原理」を前提としている。重ね合わせの原理とは、「$x_1$（t）と $x_2$（t）とが方程式の解であるならば、$C_1x_1$（t）＋$C_2x_2$（t）も解である」ということである。これは線形系では成立つが、非線形系では成立たない。線形系では各要素は夫々独立に振舞うと仮定されている。一方、非線形系では構成要素どうしが相互に強く関係し合い、そのことを通じて、自己組織化と呼ばれるような意外性を孕んだ現象が生じる。このように、20 世紀後半に起った非線形科学は、全体とは要素の集合に過ぎないとする従来の科学の見方を一変させた。要素が集まり、相互に関係し合うことによって、個々の要素からだけでは出て来ようのない現象が新たに生まれて来るのである。そして、それとともに、偶然や確率は自然にとって本質的なものだと考えられるようになった。

要素還元論は、複雑な自然を簡単な過程に分解して、夫々に対し単純な理論をつくり、それらを合成することで自然を理解しようとするものであるが、その際、そこから外れる部分は「雑音」と見做されていた[1]。そうした部分は、もはや決定論では表現出来ない出鱈目な部分であり、無いに越したことはない部分と見做されていたのである。「確率」とは、そうした部分をどうしても無視出来ない場合に、それを処理する必要上やむなく導入されたものに過ぎなかった。だから、要素還元論に立つ限り、確率とは技術的なものに過ぎず、確率の正体、つまり確率は何に由来するのかというようなことは問題にならなかったと云ってよい。

以上のような状況を踏まえて、必然性とは何であり、偶然性とは何であるか、そして、確率はそれらとどう関わるのか、をあらためて問うて見ようというのが小論の趣旨である。

結論から云えば、小論が展開するのは、物事は決まるべくして決まるのであって、物事が「偶然に決まる」などというのは言葉の矛盾だという考えである。それは、基本的にはラプラスの考えたことに他ならない。しかしそうしたラプラスの見方に、最近の非線形科学の成果を取り入れればどのような世界観を構築出来るだろうか、それを探って見ようというのが小論の目指すところである。

先ず、非線形科学の先駆けをなすと思われるのがA.N.ホワイトヘッドの有機体哲学である。それによれば、法則は「賦課」されるものではなく、「内在」するものである。ホワイトヘッドはプラトンの言葉：「私は、存在の定義は端的に力だと思う」から出発する[2]。ここで、力とは外部から賦課され、強制されるものではない。そうではなく、力を働かせ、力の働きに従うこと、つまりは作用と反作用とが、存在の本質だというのである。このように、ホワイトヘッドは、「もの」としての実体ではなく、作用という「出来事」的なものに存在の本質を見出す哲学を展開して行くのであるが、その彼も、最終的には「神」を持ち出さざるを得なかった[3]。ホワイトヘッドは、要素の夫々が夫々を支え合っているだけでは、何れ渾沌へと向わざるを得ないだろうと考えたのである。

しかし、その後の非線形科学の発展は、平衡から遠く隔たった系においては、秩序が自発的に生まれて来ることを見出した。系は、一概に渾沌に向う訳ではないのである。そうした非線形現象には様々なものが知られている。では、それらを通じて、そのベースをなしているのはどのよう原理であろうか。小論で考察するのは、大きくは次の三つの説である：（１）自己組織化、（２）内蔵秩序、（３）調和（靴紐仮説)。（１）はI.プリゴジンの、（２）はD.ボームの、（３）はG.チューの、それぞれ提唱する理論である。

詳しくは順次本文で見て行くことになるが、三つの説の底にあるのは、系の要素が互いに互いを支え合い、相互に影響を及ぼし合うことによって、そして、そのことによってのみ、系は全体として時間発展して行くという考えである。これは、その点だけで云えば、ホワイトヘッドの法則内在説に他ならない。

こうした系においては、各要素の動きは決定論的に決まっている訳でも、偶然にまかされている訳でもない。つまり、夫々の要素の運動は、必然的でもないし、偶然的でもない。これは、「必然性」と「偶然性」の間には隙間—必然的でも偶然的でもない領域—が存在することを意味する。しかし、一方で、必然性と偶然性とに関して、九鬼周造の云うように、「偶然性とは必然性の否定である」[4]というような見方も存在する。これは、主著『偶然性の問題』の冒頭を飾る言葉である。この九鬼の見方に従うなら、必然性と偶然性とは互いに互いの「補集合」をなし、両者の間に隙間はないことになる。この見方では、物事の生起は必然的か偶然的かのどちらかということになり、そこから、決定論と自由の問題も発生する。これについて、カントのように「物自体」と「現象」という区分を設けずとも、近年の非線形科学の知見を取り入れれば、もっと自然な考え方が可能なのではないかというのが小論を書くに至った主たる動機である。

そのためには、必然性と偶然性とを定義し直す必要がある。以下、本文で詳しく論じて行くことになるが、必然性や偶然性は、現実を単純化し、理想化することで得られる概念だというのが、小論の達した結論である。必然性について云えば、現象の必然性は、それを記述する線形方程式の決定論的性質（初期値が与えられれば全てが決まる）に由来するが、その線形性は現実を単純化、理想化して始めて云えることだというのが小論の考え方

である。一方、偶然性とは、小論では、必然性の否定ではなく、如何なる秩序も規則性も存在しないことだと定義する。そのような究極の無秩序、無規則性は、これも現実の単純化、理想化に他ならない（この点については本文第４章で、フォン・ミーゼスの「偶然性の公理」に関連して詳述する）。

こうして、必然性と偶然性とはどちらも極限概念なのであり、それらは互いに隔たった二点をなす。この二点を両端とする中間領域こそが現実の系の活動する場である。自己組織化やカオスというような現象—決して珍しいものではなく、日常ありふれた現象—もそこで生じているのである。

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 極限 ←— | | —→ 極限 | |
| | 偶然性 | 蓋然性 | 必然性 | |
| 確率 …… | 0 | p | 1 | (0<p<1) |

この中間領域を、D. ヒュームに倣って、「蓋然性（probability）」と呼ぶことが出来よう。そして、この蓋然性の一方の極限が偶然性であり、もう一方の極限が必然性なのである。ヒュームは、蓋然性には「偶然（chances）」に基くものと、「原因（causes）」に基くものとがあるが、偶然とは実は密かな隠れた原因に他ならないとした。従って、偶然に基く蓋然性と云っても、本当のところは、原因に基く蓋然性なのである[5]。このヒュームの説を受けて、小論では、確率とは「原因の分布」のことなのだと云いたい。これは、例えば、対称な骰子を投げたとき、原因が均等に分布しているということが、どの目にも1／6の確率を与えている、という考え方である。偏った骰子では、偏った原因分布が偏った確率分布を生じさせているのである。

そもそも物事が偶然に生起するとすれば、そこにどのような確率が云えようか。物事が「偶然に決まる」などと云うのは言葉の矛盾だということは、筆者として繰返し強調したい。物事は偶然には生起しないからこそ、そこに確率が云えるのである。これは、上図で、偶然性には確率０が割当てられることを意味する。極限概念として、偶然性には如何なる規則性、如何なる秩序も存在しない。従って、そこでは何も云えない、何も推量しようがないから、確率—蓋然性—も０なのである。それとの対応で、必然性に対しては確率１が割当てられる。

英語の probability は、蓋然性とも訳され、確率とも訳される。上図は、蓋然性の数値的、計量的側面が確率なのだということを表している。

次に、先行研究との関係であるが、具体的なことについては本文の該当箇所に譲るとして、ここでは大きな方針に関して述べておこう。

一体、カオスなどの非線形現象を論じる書物では、「偶然とは何か」、「確率とは何か」とあらためて問われることはあまりない[6]。例えば、カオスを齎す変換において、「変換前の値に小さな不確定性ないし誤差があると、変換によってその誤差が必ず拡大される」[7]、と云われるとき、「不確定性ないし誤差」でどのような事態が想定されているのかが分らなければ、結局カオスとは何かがよく分らなくなってしまう。そういう微小なものが増幅さ

れてカオスとなって出現するのであるから、カオスの根源はその微小なものにある。だから、それが拡大される仕組が分ったとしても、その微小なもの自体―「不確定性」「誤差」―の正体や、それがどういう機構で発生するのかが明らかにされない限り、カオスとは何かが分ったことにはならない。そして、その不確定性や誤差は、「系」とそれを記述する「方程式」とのどちらの側の問題なのか。もし後者だとすれば、それは単なる計算上の問題なのか、それとも、方程式の構造自体に潜むもっと本質的、不可避的な問題なのか。しかし、我々が問題にしているのは、系そのもののカオス的な振舞であった筈である。系自体は方程式ではない。

一方、偶然を論じる書物においても、「確率とは何か」はあまり問われない。九鬼の『偶然性の問題』では、「確率論の意図は偶然を偶然として偶然性に於て摑まうとするのではない」[8]、「要するに、確率論とは偶然そのものの考究ではない」[9]と、否定的に言及されているだけである。九鬼は、確率とは何であり、確率論の意図は何であるかに答えていない。確率と偶然とが互いに縁のない別物であるとすればそれも許されようが、普段我々は偶然と確率とを漠然と一体化して考えている。それは何に由来するのかの究明が必要だろう。

逆に、確率を論じる書物では、それが数学の書ではなく哲学の書であっても、偶然の本質にはあまり触れられない。例えば、D.ギリースの『確率の哲学理論』[10]は、確率の解釈にどのようなものがあるかを体系的に詳細に論じるものであるが、しかし、偶然とは何かが問われることはない。古典的なラプラスの『確率の哲学的試論』[11]にしても、偶然は人間の無知に帰されるだけである。さらに、数学としての確率論では、「偶然」が問われないだけでなく、「確率とは何か」さえ問われない。幾つかの形式的な公理を満たしていさえすれば、それが確率なのである。もっとも、そのような公理的方法を採用したからこそ、数学としての確率論は多大の精緻な結果を得ることが出来たのではあるが。

以上のような状況を踏まえ、小論は、偶然と確率とを総合的、有機的に捉えようと試みるものである。

最後に、小論の構成についてであるが、小論は六つの章と「結び」とからなる。小論が最終的に問題とするのは、この世界において、偶然とは何であり、確率とは何であるか、ということである。その意味で、偶然と云っても自然界における偶然が小論の対象なのであるが、そうした自然界の偶然現象を記述する際、その記述そのものの中にも偶然が侵入して来るという一面がある。上で少し触れた「不確定性」や「誤差」に関わる問題がその一例である。つまり、偶然は、自然現象そのもののうちに潜むだけでなく、それを記述する方程式の初期値の精度の問題や、「解く」ことの問題としても現れる。多くの場合、非線形方程式はただ書き下すことが出来るだけであり、解くことは出来ない。しかし、計算機を使えば、数値的に「計算」することは出来る。その際、初期値の精度や、途中における計算の誤差が結果に重大な影響を及ぼすというのが非線形方程式の本質的なところである。それで、小論の直接的な対象は自然的偶然なのであるが、それには記述や意味の問題も絡んで来ざるを得ない。そうした次第で、第１章から第３章までは、自然的偶然、数学的偶然、意味的偶然を論じる。

数学的偶然ではK.ゲーデルの不完全性定理に関する問題にも触れる。なぜ不完全性定理が偶然と結びつくのかについては本文で述べる。また、ゲーデルの定理そのものは「形式

体系」に関するものに過ぎないけれども、それは、「世界」の理解に対してもアナロジーを与えるものと考えることが出来る。つまり、我々は世界をどこまで知ることが出来るのかという問題であり、裏返せば、世界は理論で説き明かすことの出来る以上の存在ではないのかという問題である。

意味的偶然では、自然的偶然に我々が見出す意味が問われる。「小さな原因から重大な結果が生じた」と云われるとき、「小さな」や「重大な」には既に意味が含まれている。「運命」もそれに連なる問題だろう。一般に、意味が問題にされるとき、必然－偶然は、ダイナミクスの様相を呈する。偶然的なことがきっかけとなって必然的なものが形成される。偶然性は必然性の契機である。逆に、必然性は偶然性を取込むことによって深まり豊かになる。我々の一生は、必然－偶然の織り成すダイナミクスに他ならない。

以上、第１章から第３章まで偶然について概観したところで、第４章では確率を論じる。小論は、前述のように、確率とは原因の分布だという見方に立つ。第４章の前半では、この考えを、確率の概念の起源を追うことで確かめる。確率の解釈には、認識論的解釈と客観的解釈とがあり、前者には論理説や主観説が、後者には頻度説や傾向説が含まれる。小論は傾向説の線上に立つものであるが、第４章の後半では、他の三つの説についても概観する。傾向説は他の説を批判することにおいて出て来たものであり、傾向説を理解するには他の説との関係を知る必要があるからである。

確率の本質を理解する上で、筆者が重要だと考えるものに放射性元素の崩壊がある。半減期が一日の放射性元素が金庫に閉じ込められているとしよう。我々は、個々の原子が24時間後に崩壊している「確率」は１／2であると云うが、これは何を意味しているのだろうか。どの原子が崩壊し、どの原子が残るかは、「偶然に決まる」のではない。繰返し強調するように、それは言葉の矛盾である。そうではなく、金庫の内や外、つまりは宇宙の一切との関わりのなかで、或る原子は崩壊し、別の或る原子は崩壊せずに残る。夫々の原子は少くともその占める位置を異にするので、他からの影響も夫々微妙に異り、その結果、崩壊したり、しなかったりするのである。そうした原子を、途中で崩壊したものと、24時間後まで残ったものとの二つのクラスに分ければ、どちらのクラスもほぼ同数の原子から成ることが実験で確かめられるだろう。それが、確率１／2ということの意味に他ならない。云いたいのは、確率を決めているのは原因の分布だということ、そして、完全に閉じた系などというのは現実には存在しないということである。原子は相互に影響し合うだけでなく、金庫の外とも関係し合っている。そうしたことが、一見偶然と見える現象を引起しているのである。

かくて、互いに影響し合うということが問題としてクローズ・アップされて来るのであるが、第５章では、影響し合うことによって齎される秩序と渾沌とにどのようなものがあるかを概観する。それは大きくは非線形の現象である。各要素が互いに関係し合っているような系の振舞を扱うのが非線形理論であった。一般に、そのような系では、偶然や確率が本質的な役割を演ずるとされている。しかし、その場合、「偶然」や「確率」で、何が意味されているのであろうか。それを、出来るだけ多くの具体的な事例によって確かめてみようというのが本章の趣旨である。

要素が互いに影響し合うことで系全体の動きが決まって行く例として、小論が屡々引合いに出すのが、朝のラッシュ時の駅における群集の動きである。JRから地下鉄に乗り換え

るサラリーマン、私鉄からJRに乗り換える会社員が、駅の狭い通路に殺到するが、全体としてそれは整然と流れて行く。首相や都知事あるいは駅長が、誰がどう歩くかを「決定」し、指示している訳では全然ない。各自が、周りの状況に応じて、どう歩くかを決めているのであり、それによって全体が進行する。勿論小さなトラブルはしょっちゅう起るだろうが、誰が解決するということもなく、全体の流れの中でおさまって行く。これは、群集が単なる群集ではなく、一つのネットワークを構成するに至っていることを意味する。先述の自己組織化や内蔵秩序あるいは靴紐仮説の各説に共通するのも、このネットワークという考えである。第6章はこれについて論じる。そこでは、要素の夫々が夫々に影響し合い、夫々が夫々を支え合って、全体が進行して行く。世界は織られつつある織物である。

以上に続くのが最終章の「結び」である。第6章まではそもそも自然が数学に従うとはどういうことかについては論じなかった。「結び」の前半では、「法則」とは何か、「数学」とは何かについて、根本に遡って考えて見たい。数学では「点」や「直線」は定義されない。これらは、互いを関係づける公理―「二点は一直線を決定する」―を通してのみ定まる。このように、数学は、自らの対象を自らの営み自身を通じて構成しており、数学の独立性、自立性はそこに由来する（数学の正しさは、観察や実験によって検証される必要がない）。かくて、数学の世界は、夫々が夫々を支え合っている現実の世界のモデルと見做すことが出来る。では、数学における「計算」やそれに伴う「誤差」は、現実の世界の何を写しとったものなのか。「結び」の前半ではこれらについて論じたい。

最後に「結び」の後半であるが、そこでは、小論は、次のように総括される：必然性、偶然性は単純化、理想化による極限概念であり、それらを両極として蓋然性の世界がある。蓋然性は原因に基いている。この原因の分布が確率に他ならない。カオスや自己組織化という非線形現象―それは日常ありふれている―は蓋然性の世界で生じている。非線形な系においては、個々の要素が相互に影響を及ぼし合い、互いに支え合うことによって、系全体が進展して行く。夫々の要素の動きは必然的でもなければ、偶然的でもない。

1．金子邦彦・津田一郎（1996）２頁。
2．Whitehead, A. N. (1933) 邦訳163頁に『ソピステス』二四七から引用されている。
3．同156頁。
4．九鬼周造（1935）１頁。
5．Hume, D. (1739) 邦訳158頁。
6．例えば、Prigogine, I. (1997) *The End of Certainty-Time, chaos, and the New Laws of Nature* がそうであるし、「カオス」という言葉の名付け親であるJames A. Yorkeが著者の一人となっている *Chaos. An Introduction to Dynamical Systems* (1997, Springer-Verlag)にしても同様である。
7．蔵本由紀（2007）171頁。
8．九鬼周造（1935）２頁。
9．同３頁。
10．Gillis, D. (2000).
11．Laplace, P. S. (1814).

## 第1章　自然的偶然

### §1. ラプラスの魔

そもそも偶然とは何か。この世界に、偶然と云われるような現象は、本当に存在するのだろうか。これらについて、先ずは、次のような分類が可能だろう：

（A）偶然は存在しない。全ては原因 - 結果の関係に従って生じている。

（A－1）我々の無知により、原因の知られない出来事がある。それらの出来事を、我々は、偶然に生じたという。

（A－2）原因 - 結果の関係に従って生じた出来事のうち或る種のタイプのものが、我々には、偶然に生じたように見える。

（B）偶然は客観的に存在する。

最初に少し、歴史的なことを振返っておきたい。

パスカル（Blaise Pascal、1623-62)、フェルマ（Pierre de Fermat、1601-65）らによって創められた確率論は、19 世紀初頭に、それ迄の成果がラプラス（Pierre Simon Laplace、1749-1827）によって集大成された。

ラプラスは、『確率の哲学的試論』の冒頭で、全ての事象は必然的に自然の偉大な法則から生じていることを強調している。ただ我々は、これらの事象と宇宙の全体系とを結ぶ繋がりを知らないので、これらの事象が規則的に継起するか、それとも無秩序に継起するかに従って、目的因のせいにしたり、偶然のせいにしたりしているのである。ラプラスによれば、これらは想像上の原因に過ぎず、我々の知識の範囲の拡大に伴い、姿を消すべきものである。そして、これに続いて登場するのが有名な「魔」である：

> 我々は、宇宙の現在の状態はそれに先立つ状態の結果であり、それ以後の状態の原因であると考えなければならない。或る知性が、与えられた時点において、自然を動かしている全ての力と自然を構成している全ての存在物の各々の状況を知っているとし、更にこれらの与えられた情報を分析する能力を持っているとしたならば、この知性は、同一の方程式の下に宇宙の中の最も大きな物体の運動も、また最も軽い原子の運動をも包摂せしめるであろう。この知性にとって不確かなものは何一つないであろうし、その目には未来も過去と同様に現存することであろう[1]。

結局、啓蒙主義者ラプラスにとって偶然とは我々が無知であることの表明に過ぎない。偶然とはあくまで我々人間の認識の欠陥によってそう見えるだけのものであり、現実のこの世界には偶然は存在しない（上記の分類で（A - 1））。だから、完全な知性の持ち主である魔にとっては全てが予測可能である。

それにしても、確率を論じる書の冒頭になぜ機械的決定論そのものの化身ともいうべき魔が登場するのか。ラプラスとしては、人間と魔の間には知性において無限の隔たりがあり、確率が活躍するのは、まさにこの隔たりにおいてであることを強調したかったのであろう。無限の隙間を少しでも埋めようとする試みが確率論に他ならない。そして、確率論は、この隙間を、たとえ僅かにせよ確かに埋めることが出来るのである。でも、どうしてそういうことが可能なのか。これについては確率とは何かから始めなければならない。そ

れで、それは第４章まで待つことにして、ここでは偶然に話を戻そう。

偶然を我々人間の無知に帰する考えは何もラプラスに限った訳ではない。それ迄にも多くの数学者、哲学者がそのように考えていた。ただ、それにも様々なバリエーションがある。ここではスピノザ（Benedictus de Spinoza、1632-77）を取り上げてみよう。何故スピノザかと云えば、後で、必然／偶然、決定論／非決定論を論じる際に参照したいからである。

スピノザの偶然に対する見方は『エチカ』をはじめあちこちで展開されている[2]。先ず、『エチカ』第一部から引いて見よう：

> 定理29．自然の中には何一つ偶然的なものは存在しない、一切は神の本性の必然性から一定の仕方で存在や作用へと決定されている。…
>
> 定理33．ものは現に産出されているのとは異った仕方で、また異った秩序によって神から産出されることが出来なかった。…
>
> 注解１．…ものは、我々の認識の欠陥以外には、如何なる理由によっても偶然と云われない。

そして、『エチカ』第二部定理30、31によれば、我々は、我々の身体の持続や我々の外部にある個物の持続については極めて非十全な認識しか持ち得ず、そして、それは我々の認識に欠陥があることを示している。従って、上記の注解１と合わせて、

> 定理31系．…全ての個物は、偶然的で可滅的である…。

ここ迄のところは、自然の中では全てが必然的に決定されているが、我々の認識に欠陥があるので一切が偶然的に見える、ということを述べているわけで、その点ではラプラスの見方と本質的に変らない。

ところで、『知性改善論』に、中心の周りに回転する半円が登場する（(72)）。半円は、それ単独で見る限り、意味も原因もなくただ回っている。それは「偶然に」回転しているとしか云いようがない。そこには必然性が全く欠如している。しかし、その必然性は我々がそれを単独に見る限りで欠如しているのであって、回転する同じ半円がそれの原因やそれが生み出す球の概念と結びつけられて見られるならば、そこには毫も必然性に欠けるところはない。だから、同じ半円が偶然とも見られ、必然とも見られる。

これは偶然に対するスピノザ独自な見方であろう。即ち、偶然は必然と背中合わせだという見方である。我々人間も、意味もなく回転している半円と同じである。それは「偶然」であり、訳も分らず回転すべく「強制」されている。しかし、その同じ半円は、その運動の原因や、それが生み出す球の概念と結びつけられた暁には「必然」となり「自由」となる。「自由」とは、『エチカ』第一部で、

> 定義７．自由と云われるものは、自らの本性の必然性によってのみ存在し、それ自身の本性によってのみ行動しようとするものである。…

無意味な回転は強制である。それが必然的な回転となったときそこに自由が存する。『エチカ』第四部では次のように云われる：

> 定理68．もし人間が自由なものとして生まれついていたならば、自由である間、彼等は善や悪について、どのような概念も形成しなかっただろう。…

結局、我々が善や悪について考えを巡らすことが出来るのは、我々が自由でないからである。そして、我々が自由でないのは、我々が偶然的な存在であるからである。逆に、必

然に従うとき、我々は自由である。

だから、外からの衝撃によって空中を飛ぶ石は自由だろう。もし石に意識があれば、石は自分自身の意志で飛んでいるのだと考えるに違いない（『書簡 58』）。一方、二つの干し草の山から等距離に置かれた驢馬—ビュリダンの驢馬—は自由ではない。驢馬にはどちらの干草を食うべきかの決め手—必然性—がないので、身動きが出来ず、飢死せざるを得ないのである（第二部定理 49 注解）。

以上、偶然と必然とは同じものの表裏であるとするスピノザの見方、そして、それに連動した自由観を、後で参照する必要のある限りで、見て来た。本節では、最後に、ラプラスの「魔」がその後どういう経過を辿ったかを見ておこう。

カッシーラー（Ernst Cassirer、1874-1945）によれば[3]、魔は実は長らく忘却の淵に沈んでいたが、それを新しい装いの下に蘇らせたのはデュ・ボア＝レーモン（P.Du Bois-Reymond、1818 - 96）である。

ヘルムホルツ流の運動論に親しんだ自然哲学者としてデュ・ボア＝レーモンは、全自然界は「ラプラスの魔」の意味での機械論的図式でもって解釈されるという要請を受入れざるを得なかった。そして、その上で、彼は、超感覚的なものについての知識は不可能である以上、形而上学的問題は解決不能の問題であると見做した：

> 全ての質点とその位置および速度を完全に掌握しているラプラスの魔と雖も、その知識をもってしても、質量や力の「本質」を理解するには全く無力であろう。…物質の存在するこの点において「空間に出没する」ものの正体が何であるのかについては、今日我々が知っている以上の知識を得ることは今後も決してないであろう。というのもラプラスの魔でさえも、この点では我々以上に賢くはないからである。

カッシーラーは、量子力学の新しい概念形成を待つ迄もなく、現代の物理学は久しい以前からラプラスのような見方を放棄していると云う。魔が初期条件についての完全な知識をどのように得たのかをカッシーラーは問う。魔がその知識を人間的な方法—経験的な方法—で得たのなら、そこには常に測定誤差の問題がつき纏うだろう。一方、魔がそれを超人的な方法—超越的な方法—で得たのなら、そのような叡知をもってすれば、魔は、現在から過去や未来を順を追って推論する迄もなく、一瞬のうちに無限に亘る全時間経過を直接に知ることが出来る筈だ、と。ところで、測定誤差の問題はカオスに関係する。カオスは物理学における典型的な偶然現象である。そこで、次に物理学における偶然を見て行くことにしよう。

## §2. 自然的偶然

### (1)ポアンカレの偶然

ポアンカレ（Henri Poincaré、1854 - 1912）は、物理学や天文学にも赫々たる業績を残した数学者であるが、そのポアンカレにとって、この世界に偶然は存在しない[4]。では、偶然とは我々人間の無知を測る尺度に他ならないのかと云えば、そうではない。カルデヤの牧人が始めて星の運行の跡に眼を辿らしたとき、彼等は未だ天文学の法則を知りはしなかった。それで、彼等は星は偶然に運行すると云ったろうか。現代の物理学者は、新現象の法則を火曜日に至って発見したとき、彼は月曜日にはその現象は偶然であると云ったで

あろうか。

ポアンカレの見方によれば、我々人間は誰しも、世界は必ず一定の法則に従って動いている筈だという確固たる信念を有する。ちなみに、アインシュタイン（Albert Einstein、1879-1955）やボーム（David Bohm、1917 - ）は、ポアンカレの後に量子力学が発見されてからも、この世界で何かが偶然によって生起するなどということはあり得ないという考えを決して捨てなかった。

ポアンカレによれば、全ては原因 - 結果の関係に基いて起るのであり、それらの現象中、或る種のものが我々人間にとっては偶然と見えるのである（§１の冒頭の分類で（A - 2））。それは、①小さな原因が大きな結果を齎す場合、②原因が極めて複雑な場合、であり、あとはそれらの組合せである。

先ず、①について、ポアンカレは、円錐をその頂点の上に立てる例を挙げている。少しでも対称性に欠けるところがあれば、その側に僅かに傾き、それが如何に僅かであっても一旦傾けば忽ちその方向に倒れてしまう。このように、我々の眼にとまらない程のごく小さな原因が、我々の認めざるを得ないような重大な結果を引き起したとき、我々はその結果は「偶然」に起ったと云う。我々が自然の法則と、最初の瞬間における宇宙の状態とを正確に知っていたならば、それ以降の宇宙の状態を正確に予言出来る筈である（ラプラスの魔）。しかし、自然の法則に最早秘密がなくなったとしても、我々は最初の状態をただ近似的にしか知ることが出来ない。もし、最初の近似と同じ程度の近似で、それ以降の状態を予見出来るならば、その現象は法則に支配されている、と云えるだろう。しかし、最初の状態における小さな差違・誤差が、後に非常に大きな差違・誤差となって現れて来る場合もあろう。その場合には予言は不可能となって、ここに偶然現象が得られる。

初期値の僅かな違いが齎す偶然現象―カオス―については、後で詳細に論じることにして、次に②について見てみよう。原因が極めて複雑な場合として、ポアンカレは、気体運動論を例にあげる。そこでは天文学的な数の気体分子が関わっている。分子の衝突は一秒間に莫大な回数で起る。その衝突の状態は千差万別である。二種の液体が混ざり合う現象についても同様である。それは非常に複雑な過程であるが故に、暫く経つと二種の液体は「偶然」のままに、つまりは一様に、混ざり合う。

では、我々が偶然と見做すのはこの二つの場合で尽きているのだろうか。そこで登場するのが、「男と屋根師」の例である：一人の男が街を歩いて行く。一方、屋根の上で、一人の屋根師が瓦を葺いている。男がその下を通りかかったとき、屋根師は手を滑らせて瓦を取り落とした。それが男に当り、男は死んでしまった。

これについてポアンカレはこう考える：我々の能力はごく限られているので、何かを予見するには、世界を幾つかの片々に切割かなければならない。出来る限り不自然にならないように切割くのであるが、なおときとしてその片々の二つが作用し合うことがある。そのとき、その作用の結果が我々には「偶然」のように見えるのである、と。

しかし、ポアンカレによれば、これも①または②の見方に帰すことが出来る。概して互いに縁のない二つの世界が作用し合うときには、その作用の法則は必ず非常に複雑なものに限るのであって、また他方において、その二つの世界の最初の状況が極めて僅か変化しさえすれば、この作用は起らないでも済んだろう（この男が一秒早く家を出る）。

男には男の日常があり、それは一本の因果系列をなす。屋根師には屋根師の生活があり、

それは別の一本の因果系列をなす。普通、この二本の系列は交わることはない。男も屋根師も、互いの存在すら知らずに夫々の一生を終えるのが普通である。それがときとして交叉する。そこに我々は偶然を見る。それを我々は偶然と見做す。

いずれにしても、二つの因果系列の交叉は「偶然のように見える」に過ぎず、実際のところは、そういう交叉が生じたというそのこと自体も、その二つの因果系列のそれぞれにおいて、然るべき位置を占める出来事なのである。その出来事に向って、二つの系列はそれぞれ原因 - 結果の関係（因果の連鎖）に従いながら進んで来たのであり、交叉は起るべくして起った。勿論それに先立つ事情がほんの僅かでも違っていれば、交叉は起らなかったであろうけれども。

続けて、ポアンカレは、偶然は偶然にとどまらず、そこに法則が立ち現れて来る理由を説明している。第４章の確率論にも関係するので、簡単に見ておこう。

①小さな原因が大きな結果を齎す場合

ルーレットの針がどこに止まるかは最初の押し方一つで定まる。押す力がごく僅か違っただけで、赤い扇形の上で止まるか、それともその隣の黒い扇形の上で止まるかが決まる。その力の差は筋覚によっても、器械によっても検出出来ない程小さい。そして、押す力は連続的に変化すると考えれば、針が、隣あう扇形のどちらの上で止まるかは同程度の確からしさを持つ。従って、結局、赤全体の確率と黒全体の確率とは等しいということになる。

②原因が極めて複雑な場合

カルタを切る例で考えよう。簡単のためにカルタは３枚とする。切る前に123の位置を占めていたカルタは、切った後では123、231、312、321、132、213の位置になり得る。その確率 $p_1$、・・、$p_6$ は切る人の癖に左右されるだろうが、それ以上のことについて我々は何も知らない。しかし、切る回数を非常に大きくすれば、切った後のカルタが上記６つの位置のそれぞれにある確率は1／6に近づく。この証明はカルタが３枚の場合でも簡単ではない。そこで２枚の場合について証明しよう。１回切ってもとの順序のままの確率を$p_1$、逆転する確率を $p_2 = 1 - p_1$ とする。n回切って最後にもとの順序であれば１フランの勝ち、逆転していれば１フランの負けとする。私の期待値は $E_n = (p_1 - p_2)^n$ となる（何故なら、$E_1 = p_1 - p_2$ 、$E_2 = p_1p_1 - p_1p_2 - p_2p_1 + p_2p_2 = (p_1 - p_2)^2$、以下同様）。ここで、$|p_1 - p_2|$ は１より小さい。故に、nが充分大ならば、私の期待値は０となる。つまり、ここに一つの法則が出現した。

以上で、偶然は我々の無知に起因するという見方（Ａ－１）と、或る種のタイプの出来事が我々には偶然と見えるだけだという見方（Ａ－２）とを述べた。そこで、次に、偶然は客観的に存在するという見方（Ｂ）に移ろう。

### （2）九鬼の偶然

因果系列の交叉として、九鬼周造は、「屋根から瓦が落ちて来て、軒下を転がっていたゴム風船に当って破裂させた」例を挙げる。これは、「二つ或いは二つ以上の事象間に因果性以外の関係の存在することを積極的に目撃する場合」であり、「因果系列を異にする二つの事象が一定の積極的関係に置かれたこと」による偶然の例である[5]。

二本の系列それ自体は、ポアンカレの「男と屋根師」の場合と同様、どちらも因果の系

列であるが、それらの間に生じた関係―交叉―は、ポアンカレの場合と違って、「因果性以外の関係」であり、「因果的偶然」と呼ばれる（「因果的」と云うのは、偶然にも各種のタイプがあるなかで、今の場合は、因果に関係して目撃される偶然だからである）。このように、偶然は客観的に存在するというのが九鬼の立場である（§１の分類で（B））。

九鬼は、一般に、「偶然」は「遭遇」または「邂逅」として定義されるとして、次のように云う：

> 偶然の「偶」は雙、対、竝、合の意である。「遇」と同義で、「遇う」ことを意味している。…偶然性の核心的意味は「甲は甲である」という同一律の必然性を否定する甲と乙との邂逅である。我々は偶然性を定義して「独立なる二元の邂逅」ということが出来るであろう[6]。

続けて、九鬼は、林檎が偶然にニュートンの視野へ落ちたことや、永代橋が壊れて美代吉が偶然に縮屋新助の船の中へ落ちたこと、そして、漱石の『こころ』で、Kがお嬢さんに真砂町で偶然出会ったこと、などの例を挙げている。「私はKに向ってお嬢さんと一緒に出たのかと聞きました。Kはそうではないと答えました。真砂町で偶然出会ったから連れ立って帰って来たのだと説明しました。」

九鬼によれば、このように邂逅において時間的契機が決定的意味を有するのは、それが因果性を欠いた相関だからである。その「とき」Kが真砂町を通らなければその後の展開は無かったのである。偶然を「時のはずみ」というのはそのためである。出会うか出会わないかを決めているのは因果の関係ではなく、「時のはずみ」である。これについては、ユングの「共時性」のところ（第３章）でもう少し詳細に見てみたい。

**(3)相互に独立な因果系列の交叉としての偶然**

さて、以上のようなポアンカレと九鬼の説に対して、次のような批判が可能だろう。

先ず、ポアンカレについては、原因 - 結果の関係の捉え方が広すぎるのではないかという批判があり得よう。「原因」とは「結果」の原因であり、また、「結果」とは「原因」の結果であるとすれば、あらためてスコラ哲学における「形相的」、「優勝的」の考えを持ち出すまでもなく、「結果」は何らかの意味で「原因」から出て来るものでなかればならない筈である。そうであればこそ、原因 - 結果の関係なのである。原因からどういう結果が出るか不定なのでは、それは原因ではなく、結果ではない。

ところが、既に見たように、ポアンカレは、「小さい原因」から「重大な結果」が引き起される例として「円錐をその頂点の上に立てる」場合を挙げている。しかし、不安定な平衡状態が破れた結果として最終的に生ずる状態は、その不安定な平衡状態を破った原因によっては全く決定されない筈である。この場合の原因は、不安定な平衡状態を破るための単なる引き金であり、その後の過程を制御することは全くない。だから「偶然」なのである。「重大な結果」は「小さい原因」の「結果」なのではない。

このような批判が出るのも、結局、「原因 - 結果」の関係とは何かが明確にされていないからである。小論では後でカオスを論じる。そこで示されるパイ捏ね変換の例では、全ては決定論的に定められているに拘らず、初期値のごく僅かな違いが時とともに急速に拡大されて行き、そのために、最終的にどこに行き着くことになるのかは全く予測出来ない。

次に、九鬼の説に対しては、

(a) 二本の因果系列の交叉には、「原因 - 結果の関係による交叉」も存在するだろう（例えば、こちらに向って飛んで来るミサイルを迎撃)。それと「偶然による交叉」とを区別するものは何か。つまり、「因果性以外の関係」と呼ばれているものの正体が不明である。因果性以外の関係による「交叉」、その正体については何ら説明せずに、「交叉」を単に「邂逅」あるいは「遭遇」と言換えているだけではないのか。

(b) 二本の因果系列の交叉点は、夫々の因果系列上の出来事であるから、夫々の因果系列の中で生起すべく決まっている筈である。だとすれば、どこに偶然が見出せるのだろうか。交叉すること自体が偶然なのだというなら、それは上記 (a) の問題に帰着する。また、夫々の因果系列上で、交叉する出来事だけが決まっておらず、後は全て決まっているなどということはあり得ない。

(c) 先の「瓦とゴム風船」に続けて、「火山の噴出と日蝕」の例が挙げられている。一方に、地下深くマグマの動きの系列があり、或る時刻に噴火に至った。他方に、天空高く月の動きの系列があり、月は、太陽と地球を結ぶ線分を噴火と同じ時刻に横切った。そこで噴火と日蝕とが同時に生じたが、これは「因果的偶然」である、と九鬼は云う。しかし、どこに「交叉」があるのか、どこに「邂逅」があるのか。二つの出来事が同時に生じたというだけではないのか。同時に生じるだけなら、その瞬間に生じている出来事は他にも無数にあろう。

以下、これらについて考察を試みたい。ただし、上記の項目立てにはとらわれず、問題全体を解体 - 再構成しつつ論じて行くこととする。

先ず、二本の因果系列の交叉の正体をはっきりさせるためには、それらの因果系列が相互に独立かどうかを明確にする必要があろう。この点、九鬼の論文に「独立」という言葉は出て来るものの、「独立」の意味をきちんと定義している訳ではないし、何箇所かにある偶然の定義の全てにわたって独立の概念が明示的に示されている訳でもない。

二本の因果系列が相互に独立なことは、交叉が偶然と呼ばれるための必要条件である。相互に独立でなければ、二本の系列は相互に影響を及ぼし合っているのだから、それらの交叉は偶然ではない。「相互に影響を及ぼし合わない」ということが「相互に独立である」ことの定義である。そうすると、問題は、i）この宇宙に、相互に影響を及ぼし合わないような因果系列は存在するのか、ii）存在するとして、それらが「交叉する」とは如何なる事態か、ということになる。

先ず、i）から始めよう。九鬼の「火山の噴出と日蝕」の例では、一方に地下深くマグマの動きの因果系列があり、他方に天空高く月の動きの因果系列がある。そして、火山の噴出と日蝕とが同時に起った。九鬼は、マグマの動きと月の動きとは相互に独立だから、これも因果的偶然であるとする。我々は、近似としては、相互に影響を及ぼし合わない因果系列が存在すると仮定してもよいだろう。日蝕や月蝕の日時が極めて正確に予測出来るのも、太陽系が他の天体から孤立した状態にあり、また、惑星間の距離が十分に離れていればこそである。一般に、物理的相互作用は距離の増大と共に弱まり、また、それの伝播速度は有限であるという事実は、相互に独立な因果系列が存在するという仮定をもっともらしくさせている。

そして、二本の因果系列の間の関係が独立である（相互に影響を及ぼし合わない)、ということそのことが偶然ということなのだと考えてもよいのではないか。つまり、「相互に

無関係な因果系列が存在するということ」がまさに「偶然」なのである。ただこれだけでは、無関係でありさえすれば何でも偶然ということになってしまうので、さらに条件をつけて絞込む必要があるが、ここで云いたいのは、何も「交叉」ということを持出す必要はないということである。これがⅱ）に対する答となる。「火山の噴出と日蝕」の例にしても、それらが同時に起ったというだけであり、何かと何かが「交叉」している訳ではない。
しかし、同時というだけなら、噴火と日蝕以外にもそれらと同時に起っていることは無数にある。そしてそれらの出来事のなかには、噴火と日食との間と同じ程度に、相互に無関係な出来事も数多くあるに違いない。我々はそれらを全て偶然と呼びはしない。そこで必要となって来るのが、先程ふれた「絞込み」ということである。何故、我々は、同時に生起している無数の出来事の中から、噴火と日蝕だけを取上げるのか。それは、我々が特にそれらに注目したからであり、他に理由はない（九鬼の論文で「目撃」という語は使われているが、「絞込み」の意味まで込められているのかどうかははっきりしない）。そしてこの注目には「驚き」が伴うであろう。デカルト（René Descartes、1596-1650）の云うように、驚きとは偶然に伴う情念である。

以上を要するに、「偶然」とは「相互に独立な因果系列の交叉の目撃」ということに他ならない。ここで「目撃」とは驚きをもって注目することであり、「交叉」とは単に「存在」を意味する。これは、時間の観点から云えば、「共時性（synchronicity）」ということに繋がる。「いま、共に在る」ことに驚くのである。しかし、これについては第３章で詳述しよう。

さて、偶然性とは以上のようなことであるとすれば、因果論と偶然性とは両立するのだろうか。また、自由と偶然性との関係はどうなるのだろう。そして、何か新規なものは偶然性に頼ることによって出現するのだろうか。

先ず、相互に独立な因果系列の存在を目撃することが偶然だとするのであるから、因果論と偶然性とは何ら対立するものではなく、むしろ偶然性ということが云われ得るためには因果論が成立していなければならない。この世界は因果の関係の支配する世界である。そういう世界に、実は、相互に無関係な因果系列があった、我々はそこに偶然性を見出す。

次に、自由と偶然との関係であるが、自由とは、意図したことの実現の可能性が存在することだ、としてみよう。因果の系列が夫々互いに無関係に、独立に走っていたのでは、そのような可能性はどこにも見出せないだろう。全ては夫々に決っているのだから。それ故、意図したことが実現する可能性が存在し得るとすれば、それは、因果の系列が相互に影響し合う場合を除いてはあり得ない。勿論、相互に影響し合うことが直ちに可能性に繋がる訳ではないが、影響し合わないところに可能性はない。ところが、相互に無関係な因果系列の存在の目撃ということが偶然だとしたのであった。だから、自由と偶然とに接点は存在しない。つまり、自由と偶然とは両立しない。これは、偶然は、意図したことの実現に対して何ら手段を提供しない、ということに他ならない。原因 - 結果の関係に頼ってこそ、意図したことの実現の可能性も生じて来るのである。

しかし、原因 - 結果の関係からは、新しいもの、予期せざるものは生じ得ない。原因とは結果に対する原因であり、結果とは原因に基く結果であるから、スコラ哲学における「形相的」「優勝的」の考えを持出す迄もなく、因果論だけでは新しいものが生起する余地はな

い。偶然ということがあってこそ、新奇なものが生じ得る。偶然は「自由」には貢献しないが、新しいものの生起には貢献する。それは次のような仕組による。即ち、偶然とは相互に独立な因果系列の交叉の目撃であるとして、交叉には、単に我々が二系列に注目するだけという場合（火山の噴出と日蝕）もあれば、現実に出来事が交叉する場合（瓦とゴム風船）もある。後者の場合、今まで関係のなかったもの同士が接触するのであるから、ときとして、そこに新たなもの、予期せざるものが発生する可能性がある。勿論、偶然によって常に新奇なものが生まれると云うのではない。偶然には新奇なものを生出す可能性があると云うだけである。また、偶然によらなければ新しいものは生まれないと云うのでもない。この世界を真に動かしているのは、因果律や偶然性以外のものかも知れないからである。これらの問題については、最終章で総括しよう。

以上は、「相互に独立な因果系列の交叉の目撃」として偶然を定義したのであるが、九鬼によれば、交叉とは「遇う」ことである（「遇う」とは必ずしも物理的な接触を意味しない）。南方熊楠はこの出会いを「縁」と呼ぶ。熊楠は次のように云う：「縁は一因果の継続中に他因果の継続が鼠入し来たるもの、それが多少の影響を加うるときは起」[7]。つまり、「縁」とは、或る因果の系列に他の因果の系列が紛れ込んで来ることであり、それが何らかの影響を齎したときには「起」と呼ばれる。熊楠が那智山に登り小学教員に会うのは「縁」であり、その人と話をして昔撃剣を教わった人の婿と知り翌日その人の家を尋ねるときに「縁」は「起」となる。いずれにしても、こうした見方に従えば、偶然とは交叉であり、交叉とは遭遇であり、遭遇とは縁起である。さらに、交叉とは、影響の有無は別として、関係を持つということであろうから、偶然＝縁起＝関係、という等式が成立つことになる。このように偶然とは決して出鱈目ではないのである。偶然性とは関係性に他ならない。熊楠は云う：「今日の科学、因果は分るが（もしくは分るべき見込みあるが）、縁が分らぬ。この縁を研究するが我々の任なり。しかして、縁は因果と因果の錯雑して生ずるものなれば、諸因果総体の一層上の因果を求むるが我々の任なり。」[8]　これは土宜法竜宛に書かれた書簡の一節であるが、因果の一段上の因果を探求するのが「我々」の任務であると熊楠は云うのである。

ところで、人間以外の生物に偶然ということはあるのだろうか。偶然とは、相互に独立な因果系列の交叉の中から主観が驚きをもって注視したものだとして、犬や猫はさておき、昆虫やバクテリアが何かに驚くというようなことはあり得ないだろう。彼等はひたすら現実に密着して生きて行くだけであり、そして、そうしなければ生きて行けないのだから、彼等には驚く対象もないし、驚いている余裕もない筈である。だから、昆虫やバクテリアにとって偶然は存在しないだろう。一方、彼等には退屈している暇もないに違いない。彼等は「法則」を知らないし、因果の関係も知らない。彼等は、出くわす現実一つ一つに新たにその都度対応して行かなければならない。それが現実に密着するということである。かくて、人間だけが、真に驚きもするし、退屈もするのではなかろうか。

本項は、九鬼の云う「因果性以外の関係」を求めて「独立性」に行き着いたのであったが、ここに一つ疑問がある。それは、小論のこれからの議論の展開にも大いに関係するこ

とであるが、「相互に独立な因果系列」など、本当に存在するのだろうかという疑問である。何かを実験するとして、外部からの影響を完全に遮断することは不可能である。もっとも実験の対象が線形な現象の場合には、近似的に遮断出来ればそれでよい。小さな原因は小さな結果しか生まないからである。しかし、非線形な場合にはそうはいかない（線形、非線形の区別については第５章で述べるが、とりあえずは、小さな原因は小さな結果しか生まないか、大きな結果を生み得るかで、線形、非線形が区別されるとしておこう）。これは実験の内部と外部との間の話であるが、因果系列相互の間でも同様なことが云える。相互に独立な因果系列は、「独立」を近似的に解釈する限り、確かに存在するであろうが、後で見るようにこの世界は非線形な現象で満ちている以上、「近似」は単なる「近似」で済まなくなる。つまり、どんな因果系列も、たとえ無視出来るほど微小であるにせよ互いに影響を及ぼし合わずにいることは不可能だとすれば、非線形な現象の場合には、その「微小な影響」が「大きな結果」を齎すことになるからである。偶然と見えるその「大きな結果」は実は「微小な影響」が原因であったのである。そうだとすれば、偶然とは「相互に独立な因果系列の交叉の目撃」のことだとした場合、偶然は存在しないことになる。こうして、九鬼の云う「因果性以外の関係」を求めて「独立性」に行き着いたものの、再びそこから、ポアンカレの見方に戻ることになった。そこで次項では、小さな原因から大きな結果がどのように生じるのかを、パイ捏ね変換を例に、具体的に見てみよう。

### (4)カオス

先に、「小さい原因」から「重大な結果」が引起される場合があるとしたポアンカレの説を、「原因」「結果」という言葉が本来有している筈の意味に照らして批判した。しかし、初期条件のごく僅かな違いが結果に極めて大きな差を齎すことはあり得る。今日、カオスと呼ばれている現象がそれである。カオスにおいては、「重大な結果」は「小さい原因」の中に凝縮されている。そのように見れば、この場合でも、「原因」≧「結果」であることに違いはない。原因とは結果の原因なのであり、結果とは原因の結果なのである。

カオスが意味するのは、その系の振舞が運動法則と初期条件とから完全には定まらないということではなく、系がどう進展するかを実際問題として計算出来ないということである。この点を「パイ捏ね変換」を例に、少し詳しく見てみよう。パイ捏ね変換は「決定論的」カオスの一例である。「決定論的」と云われるのは、その運動方程式が決定論的にきちんと定まっているからである。

パイ捏ね変換とは、一辺の長さが１の正方形を先ず右へ二倍に引伸ばし、そうして得られた底辺が２、高さが１／２の長方形を真ん中で二分し、右半分を、左半分の真上に置くという変換である。この変換で、点（x、y）は、

$0 \leqq x \leqq 1/2$ のとき $(2x, y/2)$ へ、

$1/2 < x \leqq 1$ のとき $(2x-1, (y+1)/2)$ へ

と移る。この変換によって、点どうしの距離は、水平方向には２倍（ただし１の差を無視する）になり、鉛直方向には１／２になる（ただし上下に引き離されることも起る）。従って、この変換を繰返し実行すれば、n回の変換後には、点どうしの距離は、水平方向には $2^n$ 倍に拡大される（ただし１の整数倍の差を無視する）。

このようにパイ捏ね変換とは「右に引伸ばして、右半分を左上へ置く」という変換であ

るが、その逆変換は「上に引伸ばして、上半分を右下へ置く」という変換である。

さて、このような変換から、どのようにして「混沌」が生じるのだろうか。

一辺の長さが1の正方形内の点を（x、y）とすると、x、yは0と1との間の数であるから、二進法によって次の様に表すことが出来る：

$$x = \cdots\cdots + u_{-3}/2^4 + u_{-2}/2^3 + u_{-1}/2^2 + u_0/2,$$

$$y = u_1/2 + u_2/2^2 + u_3/2^3 + u_4/2^4 + \cdots\cdots.$$

これは、各点（x、y）に、一つの数列 $\{\cdots, u_{-3}, u_{-2}, u_{-1}, u_0 \mid u_1, u_2, u_3, u_4, \cdots\}$ が一対一に対応することを示している。ここに、各 $u_k$ は0か1かである。縦線｜を境に、xに関わる部分はその左側に、yに関わる部分はその右側に並ぶ。

さて、一回の変換で、点（x、y）が点（x′、y′）に移るとしよう。

$0 \leqq x \leqq 1/2$ のとき、$u_0 = 0$ であるから、

$$x' = 2x = \cdots\cdots + u_{-4}/2^4 + u_{-3}/2^3 + u_{-2}/2^2 + u_{-1}/2,$$

$$y' = y/2 = u_0/2 + u_1/2^2 + u_2/2^3 + u_3/2^4 + \cdots\cdots.$$

$1/2 < x \leqq 1$ のとき、$u_0 = 1$ であるから、

$$x' = 2x - 1 = \cdots\cdots + u_{-4}/2^4 + + u_{-3}/2^3 + u_{-2}/2^2 + u_{-1}/2,$$

$$y' = (y+1)/2 = u_0/2 + u_1/2^2 + u_2/2^3 + u_3/2^4 + \cdots\cdots.$$

これは、即ち、$u_k' = u_{k-1}$ ということであり、一斉に右へ一つシフトしている。即ち、数列 $\{\cdots, u_{-3}, u_{-2}, u_{-1}, u_0 \mid u_1, u_2, u_3, u_4, \cdots\}$ は、数列 $\{\cdots, u_{-4}, u_{-3}, u_{-2}, u_{-1} \mid u_0, u_1, u_2, u_3, \cdots\}$ に移る。従って、この変換をn回繰返せば、右へn個シフトするし、逆変換では一回に一個、n回でn個、左へシフトする。

これによって先ず分ることは、初期条件（x、y）即ち $\{\cdots, u_{-3}, u_{-2}, u_{-1}, u_0 \mid u_1, u_2, u_3, u_4, \cdots\}$ には、系の過去および未来の全ての履歴（情報）が含まれているということである。その意味では、まさに決定論の世界である。現在の状況（位置）さえ分れば、たとえそれがどんなに遠い未来や過去のことだとしても、そのときの状況（位置）の予測（過去の場合には推測）は可能である。即ち、右あるいは左へ、時間の隔りの数だけシフトすればよい。これ以上完璧な決定論の世界はないと云っても過言ではない。この限りでは、非決定論や「混沌」の登場する余地は全くない。

それでは、このパイ捏ね変換はどのような意味でカオスなのだろうか。

これを見るため、二点P、Qを

$$P = \{\cdots, u_{-3}, u_{-2}, u_{-1}, u_0 \mid u_1, u_2, u_3, u_4, \cdots\},$$

$$Q = \{\cdots, v_{-3}, v_{-2}, v_{-1}, v_0 \mid v_1, v_2, v_3, v_4, \cdots\}$$

としよう。各 $u_k$、$v_k$ は0か1かであるが、$u_{-60}$、$v_{-60}$ から後の $u_k$、$v_k$ は同じであると仮定する。即ち、$u_k = v_k$、$k = -59, -58, \cdots, -1, 0, 1, 2, \cdots$ である。

この二点P、Qは、極めて僅かしか違わない。y座標は同じであり、x座標も二進法表示で小数点以下60桁目迄は同じである（$u_{-59}$ は小数点以下60桁目である）。x座標の違いは高々 $2^{-61}$ であり、$2^{10} \fallingdotseq 10^3$ であるから、それは約 $10^{-18}$ である。即ち、二点P、Q間の距離は、正方形の一辺を1としてその $10^{18}$ 分の一しか違わない。これは一兆の百万倍分の一であるから、二点P、Qは、現実問題としては全く同じ点だと見てよい。ところが、これにパイ捏ね変換を繰返し施すと、60ステップ後には $u_{-60}$、$v_{-60}$ がそれぞれP、Qのx座標の小数第1位を占める。片方が0、他方が1であったとすれば、二点間の距離は1/2である。

パイ捏ね1ステップに1秒かかるとすれば、最初は一兆の百万倍分の一しか違わなかったものが、僅か1分後には1/2に迄拡大する。そして、それから後はy座標を含めて、二点は全く別の動きをすることになる。つまり、初期条件を一兆の百万倍分の一の精度で定めても、一分後以降については全く予測が不可能になる。これが「決定論的カオス」の仕組である。それは完全に「決定論」の数式に従って動くのであるが、或る時間から先の予測は出来ない。

以上を、初期条件の精度と未来予測の可能性という観点から整理して見よう。

点Pの軌道の初期データは、数列$\{u_n\}$（nは$-\infty$から$+\infty$まで）に対応している。しかし、現実の世界では、我々は有限の窓を通してしか見ることは出来ない。この窓から見ることが出来るのは$\{u_{-3}、u_{-2}、u_{-1}、u_0 \mid u_1、u_2、u_3、u_4\}$の8個の数字だけだったとしよう。1ステップ後には、それは$\{u_{-4}、u_{-3}、u_{-2}、u_{-1} \mid u_0、u_1、u_2、u_3\}$で置き換えられる。56ステップ後には$\{u_{-59}、u_{-58}、u_{-57}、u_{-56} \mid u_{-55}、u_{-54}、u_{-53}、u_{-52}\}$となり、ここまでは点Qについても全く同じである。つまり、現実の有限の窓を通して見る限り、56ステップ後まではPの軌道とQの軌道はぴったり重なる。57ステップ目には$u_{-60}$が登場するのでPとQの軌道は離れ始める。これは、結局、n回のステップの後にN桁の精度で位置を定め得るためには、初期位置をN+nの精度で知っていなければならないことを意味する（N=4、n=56、N+n=60（$u_{-59}$はt=0のとき小数第60位にある））。

こうして、ラプラスの魔といえども、初期条件を経験的な手段で入手する限りでは、それから先の予測が不可能となるような時点が必ず存在する。実際、決定論的カオスは、どれだけよい精度で初期条件を指定しても、系の振舞に対する予言能力が全く失われるときがいつかは必ず来ることを示している。上の例は、初期位置を$2^{-60}$という驚異的な精度で知っていたとしても、僅か60ステップ後の予言は全く不可能となるようなケースである。1ステップに1秒を要するとして、60ステップを実行するには1分あればよい。その1分先の予測が不可能となるのである。

このほか、パイ捏ね変換は次のような面白い性質を持っている。一辺が1の正方形を左右に二分し、点が左半分に入ったときにはAと、右半分に入ったときにはBと書くことにしよう。面白い性質とは、出鱈目に書き下したA、Bの記号列を例えばABBABAAAB…として、点がこの通りに左右を変えて行くような初期点が存在するということである。実際、一回の変換で$\{\cdots、u_{-3}、u_{-2}、u_{-1}、u_0 \mid u_1、u_2、u_3、u_4、\cdots\}$は$\{\cdots、u_{-4}、u_{-3}、u_{-2}、u_{-1} \mid u_0、u_1、u_2、u_3、\cdots\}$に移り、縦線の直前の数字が0ならば点は左半分にあり、1ならば右半分にあるから、初期点として、$u_0=0$、$u_{-1}=1$、$u_{-2}=1$、$u_{-3}=0$、$u_{-4}=1$、$u_{-5}=0$、$u_{-6}=0$、$u_{-7}=0$、$u_{-8}=1$、…であるような点を選べばよい。こうして、硬貨投げで表が出ればAとし、裏が出ればBとして生じる偶然の記号列と全く同じ記号列を生じさせるような初期点が必ず存在することが分る。出鱈目な記号列が有限な長さなら、それと同じ記号列を生成するような初期点の全体は有限な幅を持った区間になる。この記号列を一文字分長くすると、それを生成出来る初期条件の幅は半分に縮まる。これは予測を精確にするにはそれだけ初期条件の選択に精密さを必要とするということの言換えに他ならない。

### (5)非決定論

決定論とは未来の予測が可能なことであるとすれば、上記の結果は、パイを捏ねるとい

う身近なプロセスにおいても決定論が成立たないことを示している。ポアンカレの示す世界は、因果論に従いつつも、決定論の成立たないような世界である。

以上は初期条件の精度上の制約から予測が不可能となることを見て来たが、初期条件をその内容の面から問題にすることも出来よう。つまり、ラプラスの魔は、或る瞬間の宇宙に関する完全な記述を得ることが可能だとされている。だとすれば、その記述には、宇宙の状態を記述しているその記述自体についての記述も含まれているだろう。その記述も宇宙の一部を構成しているからである。かくて、宇宙についての記述は、入れ子式に無限の連鎖を形成する。ラプラスの魔は、果たしてそのような記述を入手することが出来るだろうか、という問題である。

決定論に対する批判としては、さらに、初期条件以外の観点からも可能である。ポパー(Karl R.Popper、1902-94)は、決定論を批判する第二の論点として過去と未来の非対称性を、第三のそれとして自己予測の不可能性を取上げている[9]。

前者については、特殊相対性理論によれば、過去は「閉じている」—完全に決定されている—のに対して、未来は我々によって完全には予測されないという意味で「開かれている」。だから、特殊相対性理論の成立つ世界は、非決定論の世界である。それは、如何なる物理的影響も光速度より速くは伝わり得ないことに基く。

これをもう少し詳しく見てみよう。系の過去とは、系に物理的影響を与えることの出来るような全ての時空点によって形成された領域であり、系の未来とは、系が物理的影響を及ぼすことの出来るような全ての時空点から成る領域である。ミンコフスキーの図式に従えば、過去と未来は、「いま、ここ」を頂点Aとする二つの向き合った円錐で表される。さて、我々は、Aにおいて、未来の時空点Bにおける系の内部の状態について完全な予測をしたいと思っているとしよう。しかし、それは不可能である。何故なら、Aの過去円錐には属さないが、Bの過去円錐には属するような点Pが存在する。Aにいる我々にはPについて何も知り得ないが、Pからの影響はBに及ぶので、我々にはBについて完全な予測は出来ない。これはラプラスの魔にとっても同じである。

次に、自己予測の不可能性については、「自分が明日知ることを今日知ることが出来る」ということのうちに含まれている矛盾—馬鹿馬鹿しさ—から、決定論を批判するものである。他人が明日知るだろうことを、私は今日予測出来るかも知れない。しかし、私が明日知ることを今日のうちに知ることは、私がラプラスの魔であったとしても不可能である。

過去と未来の非対称性は物理学の観点からの決定論批判であったのに対して、自己予測の不可能性は数学、論理学の立場からのものである。ポパーは、「予測機械」を使った思考実験を展開する。互いに相手の状態を予測する二台の予測機械を想定し、そこから矛盾を引出すことで、「予測機械はそれ自身の未来の状態を予測出来ない」ことを示している。

しかし、そのような議論をしなくても、この世界が決定論に従っているのではないこと、そして、全くの偶然に委ねられているのでもないこと、は我々自身が一番よく知っているのではないか。我々は何事かの実現に向けて努力する。もし、全てが予め決まっていたり、全てが出たとこ勝負でしか決まらないとすれば、我々は努力するだろうか。有史以来、何千億という人間が努力の必要性、有用性を認めて来たのである。

## §3. 量子論における偶然

前節で論じたのは、初期条件に関する精度上の制約から将来の軌道が不確定となるカオスや、因果律だけでは説明のつかない「共時性」(相互に独立な因果系列の交叉)の問題である。これらはこれらで決定論の見直しを迫るものである。しかし、一般には、偶然が本質的な役割を演じるのは量子力学の分野であると考えられていよう。よく知られているように、電子の位置は確率的にしか予言出来ないとされる。けれども、電子の従うシュレーディンガー方程式そのものは厳密に決定論的なものである。そして、多世界解釈と呼ばれる見方では、量子論に偶然の入り込む余地はないとされる。本節では、この多世界解釈がどういう内容のものかを調べ、批判するという形で、量子論における偶然の問題を考えて見たい。先ずは、標準的なコペンハーゲン解釈から始めよう。

**(1)コペンハーゲン解釈**

20世紀になって、原子は、中心に原子核があり、その周囲を電子が動いているということが明らかになったが、次の二つの事実をどう説明するかが大きな課題となっていた：①電子のエネルギーには下限がある(それで、原子は潰れない)、②電子のエネルギーはとびとびに変わる。そこで登場したのがシュレーディンガー(Erwin Schrödinger、1887-1961)である。彼は、電子一つ一つに対して、「波」を表す方程式—シュレーディンガーの波動関数($\phi$)—を形式的に対応させることで、上記の①、②を説明した。(電子の波が原子核の周りに存在出来るためには、その一周の長さ$2\pi r$が波長$\lambda$の整数倍でなければならない。このことから①、②が導かれる。)

しかし、普通、「波」と云えば、波を生じさせている物質の運動である。例えば、海の波は水の運動であり、音波は空気の振動である。では、電子を波と云う場合、それは何の運動なのか。多数の電子が振動してそれが波になっているというのではない。電子一つ一つを波で表そうというのである。また、一つの電子が分解して広がり、それが振動するというのでもない。電子はあくまで分割不能なものとして扱われる。

このような状況下で、ボルン(Max Born、1882-1970)は、波動関数$\phi$の絶対値を二乗したものは、電子がその場所で発見される確率に比例するという説を唱えた。彼は、この「波動関数の確率解釈」を経験則(量子力学の公理)として提唱した。つまり、このように計算して結果を予測すると、実験事実とよく一致するという意味である。$\phi$が何を表しているのか、波としての電子とは一体何なのかという問題に対しては、この解釈は一切触れない。

ボーア(Niels Henrik David Bohr、1885-1962)を中心とするコペンハーゲン学派は、電子は、我々が見ていないときには、「場所A点にいる状態」や「場所B点にいる状態」などが重なり合っている—共存している—と考えた。これは、「電子はA点とB点の両方に同時にいる」ということではない。また、「電子はA点かB点かどちらか一方にいるのだが、どちらにいるかは確率的にしか云えない」のとも違う。一個の電子が「A点にいる状態」とその同じ電子が「B点にいる状態」とが、同一の電子の中で重なり合っているのである。

さて、このような意味で「広がって」いた電子は、我々がそれを観測した瞬間に、或る一点に収縮してしまう。これを「波の収縮」という。電子がどこで発見されるかは、その確率がそこでの$\phi$の絶対値の二乗に比例するという「波動関数の確率解釈」を用いる。

電子がどの位置に観測されるかは分らないが、何度も同じ状況で観測を繰返すと、結果

がどのように分布するかは分る。これがコペンハーゲン解釈で云う「電子の位置は確率的にのみ予言出来る」ということである。

このように、シュレーディンガー方程式に、波の収縮と確率解釈とを合わせたものがコペンハーゲン解釈である。波としての変化はシュレーディンガー方程式で表されるが、波の収縮の方は全く人為的なものであり、方程式からは導けない。人間が観測したからそこに収縮したと云うだけで、なぜ収縮するのか、観測されなかった部分はどこへ行ってしまったのかなどについては、この解釈は何も答えない。

### (2)多世界解釈

いっそ「波は収縮せず、広がったままだ」と考えてはどうか。これが多世界解釈の出発点である。観測される前の電子の位置について、コペンハーゲン解釈では、「様々な場所にいる状態が重なっている」と考えたが、多世界解釈では、どこか一箇所だけにいると考える。その代り、我々の知らないうちに世界が、「電子がA点にいる世界」、「B点にいる世界」などのように枝分れしていると考える。つまり、一個の電子の中で「夫々の場所にいる状態」が重なっているのではなく、「電子が夫々の場所にいる世界」が重なっている―同時進行している―と考える。我々観測者自身も夫々の世界に枝分れして存在する。波の収縮は起らない。夫々の世界はそのまま進行して行く。ただ夫々の観測者は、自分がどの世界に来ているのかは、電子を観測するまで断定出来ない。

多世界解釈は、量子力学がこの世界の根本原理だとしたら、原子一つ一つだけでなく、それから構成される物体、人間、天体、そして宇宙全体も同じ原理で説明されるべきだという立場に立つ。そして、それらを量子力学の対象と考えると同時に、それらを一纏めにして「セット」として扱う。人間もその意識もこの世界の現象の一つに過ぎない以上、人間が電子の位置を観測したからといって、その瞬間何か特別なことが起る訳がない。波の収縮の余地はない。

このように、多世界解釈は、何か特に新しい理論を作り出そうというのではなく、量子力学の基本原理であるシュレーディンガー方程式「だけ」で考えようという立場である。そして、そのシュレーディンガー方程式は厳密に決定論的な方程式であるから、そこに偶然や確率は登場しない。しかし、多世界解釈によっても、コペンハーゲン解釈におけるのと同じ予言が可能だとする考え方が存在する。以下、その概要を示して見たい[10]。なお、これについての筆者の考えは（4）で述べる。

さて、箱の中を運動する電子を考えよう。電子一個について、箱の左側と右側とで波動関数$\psi$の絶対値の二乗が等しいと仮定しよう。その場合、コペンハーゲン解釈では、「確率解釈」という天下り的に認めた公理により、電子が左側に発見される「確率」と右側に発見される「確率」とは等しいとされる。そこで、電子が千個ある状況を作ったとしよう。電子一個について発見される確率は左右で等しいのだから、確率論によれば、千個ではそのうちのほぼ半数が左側に発見される筈であり（大数の法則）、それは実験によって確かめられる。

では、「確率」の考えを持込まない多世界解釈では、これ―ほぼ半数が左側に発見されるという事実―をどう説明するか。多世界解釈といえども、波動関数と観測結果とを結びつける最低限の基準は必要である。そこで、その最低限の基準として、多世界解釈では、

「波動関数 $\phi$ の絶対値の二乗が他より圧倒的に大きい状態があれば、観測においてはその状態が観測される」という基準を設ける。この場合、「確率」の概念は全く用いていないことに注意しよう。さて、そうしたとき、コペンハーゲン解釈における予言と同じ予言がどうして可能かと云えば、それは、電子が千個ある状況の場合、千個の電子を観察するのだから、確率を介在させずに、直接、電子が千個ある状態を考えようというのである。電子一個の場合の波動関数 $\phi$ の絶対値の二乗が箱の左右で夫々1であったとしよう。電子が全体でn個のとき、そのうちのk個が左に、n－k個が右にある状態の $|\phi|^2$ は $_nC_k$（n個の異るものから重複を許さずにk個をとって出来る組合せの数）であることが計算から出て来る。そうすると、このことから、nのほぼ半数が左にあるという状態の $|\phi|^2$ が圧倒的に大きくなるということが数学的に示せるので、先の基準により、それが実現されている状況だということになる。こうして、確率に関しては何も仮定していないのに、ほぼ半数の電子が左に発見されることが導かれた。（「ほぼ半数」とは、全電子数をnとするとき、$\pm\sqrt{n}$ の幅を許容するという意味である。）

電子一個の $|\phi|^2$ が左右で違う場合にも、同様の方法によって、多数の電子がどのように左右に分布するか（左右で異る）の予言が可能なことが示せる。このように、確率という概念を持込まなくても、コペンハーゲン解釈における確率解釈の予言と同じ予言が可能なのだ、と多世界解釈は云う。

さて、しかし、「沢山の電子がある場合には予言が可能なことは分ったとしても、電子一個だけを対象としたときにはそれが観測される位置は決まらないではないか、それを決めているのは矢張り「偶然」でしかない」という反論があろう。これについて、多世界解釈は次のように答える：人間や人間の意識といえども、他の自然現象と区別しなければならない理由はない。それで、電子が左側にある状態と右側にある状態とが共存しているとすれば、観測者もどちらの状態にも存在している。前者の状態にいる観測者は電子を左に意識するし、後者であれば右に意識する。「偶然」はどこにも登場しない、と。

それはまたこうも云えよう：人間も、その意識も、世界の中の現象の一つである。だから人間は、共存している複数の状態の外側に立って、全体を見通すことは出来ない。人間も一つ一つの状態の中に存在し、自分が存在している状態しか観察出来ない。それが、人間による観察では、一個の電子の位置について予言出来ない理由である。量子力学そのものは自然を完全に記述しているが、それの内側にいる人間にはその一側面しか見ることが出来ないのである。

### (3)多世界解釈における偶然

量子力学の世界こそ偶然が本質的な役割を演じる世界だとされて来た筈であるのに、これではまた、偶然とは人間の無知のことだとするラプラスの見方に戻ったようなものである。解釈次第によって、偶然は客観的に存在するとされたり、我々の無知の謂だとされたりすることを、どう考えればよいのだろうか。

九鬼は、偶然性とは必然性の否定であるとし、先ず、必然性を、(1) 定言的必然、(2) 仮説的必然、(3) 離接的必然の三つに分類する。そして、それとの対応で、偶然性を、(1) 定言的偶然、(2) 仮説的偶然、(3) 離接的偶然に分け、これらは、それぞれ、(1) 概念と徴表との関係、(2) 理由と帰結との関係、(3) 全体と部分との関係、に関して把握される

とする[11]。九鬼は、仮説的関係として、理由性、因果性、目的性の三つを挙げているので、古典物理学での偶然は、このうちの因果性に関係したものとして仮説的偶然ということになろう。

さて、多世界解釈において、偶然を否定する場合に、その根拠となるのは「多」世界の存在である。つまり、電子が左にある世界にいる観測者は電子を左に発見し、電子が右にある世界にいる観測者は電子を右に発見する。そこに偶然は存しない。

ところが、この「多」こそが九鬼の云う「離接的偶然」である。一つの電子に複数の状態が共存している（コペンハーゲン解釈）と見ようが、一つの電子が複数の世界に共存している（多世界解釈）と見ようが、複数であること、そのことが偶然なのである。離接的偶然とは、「同等に可能なる幾つかの離接肢の中に於ける一つの可能」を意味する[12]。

九鬼によれば、骰子の現す一定の面を偶然の性格を持つものとするのは六つの可能性を背景として考えるからである。競馬に内在する偶然も本質的にはこれと同じで、この種の偶然性—離接的偶然—は、離接的可能性の一離接肢が現実として眼前に措定された場合に、その現実が可能性全体に対して、従ってまた不可能性に対して、持つところの関係である。

このように、同じ「多」が、多世界解釈では偶然を否定する根拠とされ、九鬼の哲学ではそれこそが根源的な偶然であるとされる。

さて、しかし、多世界解釈の「多」に根源的な偶然—離接的偶然—を認めると云っても、その「多」を構成する一つ一つの世界が相互に干渉し、影響し合ったのでは「多」にならない。多世界を構成する夫々の世界は、相互に不干渉、独立でなければならない。多世界は歴史の枝分れから生じるので、このことは、一旦枝分れした歴史は最早互いに影響を及ぼし合わないということを意味する。だから、電子を左に意識する観測者と、電子を右に意識する観測者とは如何なる意味でも互いに交渉し合うことはない。

枝分れと、分れた各枝のその後の状況を調べるには、ファインマン（Richard Phillips Feynman、1918-）の経路積分法を使えばよい。経路積分法とは何かについては省略し、ここでは、量子力学で有名な「２スリット実験」の説明、そして、我々の日常生活では一旦枝分かれした世界は決して干渉し合わないのは何故かということの説明、に経路積分法がどのように使われるかを見ておこう。

２スリット実験とは、二つのスリットを持つ板の後方にスクリーンを置き、電子をスリットに向けて放つ実験である。放たれるのが電子でなく、水や光の波であったとしたら、スクリーンに干渉縞が現れることに何の不思議もない。それは「波」としてありふれた現象である。問題は、電子一つずつの実験を繰返したとき、何故そのような縞模様が現れるのかということである。

経路積分法ではこの現象を次のように説明する。スリットに向って放たれた一つの電子がスクリーン上のＰに達したという状態には、スリットＡを通り抜けたという歴史と、スリットＢを通り抜けたという歴史とが寄与している、と。つまり、スクリーン上に到着した電子は一つでも、それ迄の歴史に二種類あり、それが干渉しているのである。この場合、どの場所に電子を発見するかは一回の実験では何も云えない。干渉はあくまで同じ一つの電子の二つの過去の間で起っているのであるが、その結果が縞模様として現れるのは何回も実験を繰返すことによってである。それは、前に千個の電子が左右ほぼ同数に分れる状況を計算したのと同様な方法で示される。

ところで、干渉が生じ得たのは、途中の経路が違っても「最終的には同じ状態になった」からである。どちらの経路を通っても最後は同じ状態になったからこそ、双方の寄与は足し合わされる。そしてその結果、干渉が生じる（同符号では強め合い、異符号では相殺し合う）。最後が同じ状態になっていなければ、それらは別々のものであり、干渉は起きようがない。２スリット実験では、電子は何にも影響されずに飛んで行くという設定なので、電子のことだけを考えればよかった。しかし、電子が飛んで行く途中に何かがあって、そこに何らかの痕跡を残すとすれば、経路の違いにより残された痕跡が異る。従って、電子がスクリーン上の同じ点に到着したとしても、全体としては「最終的に同じ状態」になっていないので、干渉は起きようがない。

人間による２ドア実験―左右どちらかのドアを通って部屋に入る―の場合にも、干渉は起きようがない。人間がこちらの部屋にやって来る迄には至る所に痕跡を残すので、左のドアを通ったという歴史を持つ世界と、右のドアを通ったという歴史を持つ世界とは、共存はしていても、全く異る世界であり、干渉はあり得ない。こうして、我々の日常の世界は、それが多世界であるとしても、夫々の世界は、「共存はするが互いに干渉することのない」世界である。

さて、以上を要約すれば、量子論の多世界解釈において、物理学的な偶然の概念は不要だとしても、「多」というところに、哲学的には根源的な偶然―離接的偶然―が存するということである。物理学的に云えば、電子が左側にある状態と右側にある状態とが共存し、観測者も夫々の状態に共存している。前者の状態にいる観測者は電子を左に意識するし、後者の状態にいる観測者は電子を右に意識する。それだけのことであり、そこに「偶然」の出番はない。しかし、左側にある状態と右側にある状態とが存在して干渉し合わないという、まさにそのことが、哲学的には偶然なのである。

### (4)多世界解釈における確率

では、確率についてはどうであろうか。（２）で、多世界解釈では、$|\phi|^2$ と確率との関係を仮定しないでも、電子が多数の場合には、左右にほぼ半数ずつ発見されることが数学的に導かれるという説を紹介した。電子一個のときの $|\phi|^2$ は、左で１、右で１としよう。その場合、電子がｎ個のときに、左にｋ個、右にｎ－ｋ個という状態の $|\phi|^2$ は ${}_nC_k$ であるから、ほぼ半数が左に、残りが右にあるという状態の $|\phi|^2$ が圧倒的に大きい、従って、その状態が実際に観測されることになるのだ、ということであった。ここで ${}_nC_k$ とはｎ個の異るものから重複を許さずにｋ個をとって出来る組合せの数であり、「ほぼ」とは $\pm\sqrt{n}$ の幅を許容することである。

ところで、ｎ個中、左にｋ個、右にｎ－ｋ個という状態の $|\phi|^2$ は ${}_nC_k$ であるということのうちは、どういう前提が潜んでいるのであろうか。ｎ＝３の場合、３個の電子を①、②、③とすると、全部で８通りのケースが存在する：

| ケース | 左 | 右 | $|\phi|^2$ |
|---|---|---|---|
| 1 | ①②③ | ― | $1^3\times1^0=1$ |
| 2 | ①② | ③ | $1^2\times1^1=1$ |
| 3 | ②③ | ① | $1^2\times1^1=1$ |
| 4 | ③① | ② | $1^2\times1^1=1$ |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 5 | ① | ②③ | $1^1 \times 1^2 = 1$ |
| 6 | ② | ③① | $1^1 \times 1^2 = 1$ |
| 7 | ③ | ①② | $1^1 \times 1^2 = 1$ |
| 8 | — | ①②③ | $1^0 \times 1^3 = 1$ |

電子が３個とも左に発見されるのはケース１であり、$|\phi|^2$ は$1^3 \times 1^0 = 1$である。それに対し、電子が左に２個、右に１個発見されるのは、ケース２、３、４の三つであり、$|\phi|^2$ は$(1^2 \times 1^1) + (1^2 \times 1^1) + (1^2 \times 1^1) = 3$である。これと同様にして、電子がｎ個の場合、左にｋ個、右にｎ－ｋ個ある状態の$|\phi|^2$ は ${}_nC_k \times 1^k \times 1^{n-k} = {}_nC_k$ であることが示される。

ここに潜んでいるのは「加法則」と「乗法則」とである。どちらも特に取り立てて云う程のことでもないように見えるが、実はそうではない。確率論というのは測度論の一形態である。そして、測度論を特徴づけるのが「重ならない場合には足し合わせることが出来る」という加法則であり、確率論はそれに、「独立な場合には掛け合わせることが出来る」という乗法則を付け加えたものである。全体が１であるかどうかは本質的な問題ではない。

この加法則、乗法則こそが確率の実質をなす。数学的には、この二つの法則を基本とする一連の操作に従うものが「確率」であり、それ以外に「確率」なるものがどこかにある訳ではない。

従って、多世界解釈では確かに確率という言葉なしに済ませることも出来るが、それは「確率」という「言葉」を使わないだけであって、実質的には確率を使っているのと同じことであるというのが筆者の見方である。

さらに、上記の ${}_nC_k$ を用いる議論全体は、確率論における「大数の法則」の証明と全く相似形である。このことは、第４章§１に大数の法則の証明を載せておいたので、それと比較すれば直ちに分る。

以上を要約すれば、多数の電子で実験すれば左右ほぼ同数ずつ発見されることになろうという予言を導くのに確率の概念は必要ないと云っても、それは「確率」という言葉を使わないだけのことであり、手法そのものは実質的に確率論の手法と変らないのである。

### (5)量子力学と偶然

パイ捏ね変換を典型とするカオスが意味したのは、その系の振舞が運動法則と初期条件とから完全には定まらないということではなく、系がどう進展するかを計算することが実際問題として出来ないということであった。

量子力学の偶然はこれとは本質的に異る。それを端的に示すのがハイゼンベルク(Werner Karl Heisenberg、1901-76)の「不確定性原理」である。電子の速度が確定出来るとは、電子の波がただ一つの正弦波で表されることを意味する。この場合、波は横軸方向に無限に広がってしまう。つまり電子の速度を確定すると、電子はどこにいるのか全く分らなくなる。一方、電子の位置が確定出来るとは、電子の波が縮まった状態であり、そうした特殊な波形を作るには無限の種類の正弦波を重ね合わせる必要がある。つまり電子の位置を確定すると、速度に無限の可能性が生じて、速度が決まらなくなってしまう。このように、不確定性原理は、測定の精度の問題ではなく、位置の確定と速度の確定とが原理的に両立しないことを云っている。

この不確定性原理のほかに、量子論固有の偶然性を示すものとして、「シュレーディンガーの猫」の問題と「EPR」問題がある[13]。これらは、多世界解釈の立場に立てば、以下に示すように解決される。ただしこの立場でも、上で見たように確率の概念を実質的に使うのであるから、認めないのは「波の収縮」ということだけである。つまり、シュレーディンガーの波動方程式を基礎に、「波の収縮は認めないが、確率解釈は認める」という立場である。

先ず、「シュレーディンガーの猫」とは次のような問題である：鉄の箱の中に、放射性物質、放射線の検出装置、それに連動した毒ガス発生装置を置き、生きた猫を閉じ込める。１時間内に原子核崩壊の起る確率は50%として、さて１時間が経過した。猫はどうなっているか。首尾一貫した考え方を通そうとする限り、コペンハーゲン解釈では、観測前の猫の生死を「実は一方に決まっているが、我々箱の外の観測者はそれを知らない」ということではなく、「生と死の状態が重ね合わせになっていて、生死のどちらか一方だけに決まってはいない」と考えざるを得ない。猫の生死は原子核崩壊の有無に完全に連動しているので、原子核の状態が重ね合せになっている以上、猫の状態も重ね合せになっていなければならない。この問題は、多世界解釈の立場に立ち、粒子放出前の原子核と放出後の原子核とが別々の世界に共存していると考えれば解決する。前者には生きている猫とそれを確認する観測者が居り、後者には死んでいる猫とそれを確認する観測者が居る。二つの世界は共存はしているが、干渉し合うことはない。

次に、「EPR 問題」では、１個の粒子が壊れて、２個の粒子が発生し、互いに反対方向に飛び出すという実験を考える。この場合、もとの粒子はスピンせず、壊れて出来た２個の粒子は、必ず、互いに反対の向きにスピンする。さて２個の粒子間の距離が一光年になってから、一方の粒子 A だけを観測する。量子論（コペンハーゲン解釈）によると、観測される迄はスピンの向きが決まっていなかった粒子 A は、観測された途端に、スピンの向きが確定する。そして、一光年離れたもう一方の粒子 B のスピンの向きも、A とは反対の向きとして確定することになる。これは、いわば、触ってもいない波が収縮する訳であり、これに対して、アインシュタインは、情報が瞬時に伝わるのはおかしいと主張した。しかし、これも多世界解釈によれば、枝分れしていた二つの世界のどちらにいるかが観測によって確定したに過ぎない。即ち、A が左向き、B が右向きの世界であるか、それとも、A が右向き、B が左向きの世界であるか、が A を観測することで確定したのである。それはゲルマン（Murray Gell-Mann、1929-）の云うバートルマンの靴下と同じである。数学者バートルマンは常に、一方の足には緑の、もう一方の足には赤の靴下をはいている。もし、一方の足を見て緑の靴下が目に入れば、他方の足は赤の靴下であることが即座に分る[14]。

最後に本節全体を要約すれば次のようになる。偶然性には色々あろうが、九鬼の云うように、複数の選択肢が存在するということこそが最も根源的な偶然なのだという立場に立って見よう。そうすると、ルーレットも、その偶然性は、ポアンカレの云うように最初のひと押しの微かな差にあるのではなく、赤でもあり得、黒でもあり得たと考える点に存することになる[15]。ところで、多世界解釈における「枝分れ」は、コペンハーゲン解釈における「波の収縮」に相当する。このように多世界解釈では枝分れということが基本的な役割を果すが、それは言い換えれば、複数の選択肢が存在するということである。従って、

九鬼のような立場に立つならば、量子論の各種解釈のうちでも、多世界解釈こそが最も純粋に偶然の本質を反映したものだということになる。「多」が即ち「偶然」なのである。

1．Laplace ,P.S.(1814)　邦訳 10 頁。
2．以下の引用は、工藤喜作・斎藤博訳「エティカ」(1980、『世界の名著 30』、中央公論新社)、畠中尚志訳『知性改善論』(1968、岩波文庫) および畠中尚志訳『スピノザ往復書簡集』(1958、岩波文庫) に依る。ただし、文体の統一のため若干語句を変更した。
3．Cassirer,E.(1936)　邦訳14−22頁。なお、カッシーラーによるデュ・ボア＝レーモンの引用は同19頁にある。
4．以下は、Poincaré,H.(1908)の邦訳第一篇第四章「偶然」に依る。
5．九鬼周造 (1935) 134−5 頁。
6．同 148 頁。
7．南方熊楠 (1971) 391 頁。
8．同 392 頁。
9．Popper,K.R.(1982 a) 邦訳 71−98 頁。
10．和田純夫 (1994) 第 9 章、第 12 章。
11．九鬼周造 (1935) 7 - 9 頁。
12．同 10 頁。
13．EPR とは最初にこの問題を論じたアインシュタイン、ポドルスキー、ローゼンの頭文字をとったものである。
14．Gell-Mann,M.(1994)　邦訳 219 頁。
15．九鬼周造 (1935) 251 頁。

## 第2章　数学的偶然

物事には必ず構造なりパターンなりが存在して、我々に発見されるのを待っているのだろうか。それとも、物事のなかには、全くランダムであり、法則やパターンには一切服さないようなものも存在するのだろうか。もし後者だとすれば、純粋数学においても、そのようなものが存在するのだろうか。この最後の問に対して、チャイティン(Gregory Chaitin、1947-) は、数Ωの存在を示すことで、「然り」と答えた。このΩは、数論の事実に基く完全に数学的な対象であるにも拘らず、ランダムであり、圧縮不可能（それ以上短く記述することは出来ない（後述））であり、その意味で硬貨投げの結果と区別がつかない。「神は量子力学においてだけでなく、純粋数学の分野においても骰子を振っている」[1]とはチャイティンの言葉であるが、本章の目的は、このことの意味を明らかにすることにある。ところで、チャイティンの得たこの結果は、ゲーデル（Kurt Gödel、1906-78）の不完全性定理を受け継いだものなので、先ずそれから見て行くことにしよう。

### §1. ゲーデルの不完全性定理

真理は常に有限な長さで記述出来るとは限らない。一口で云えば、これが、1930年にゲーデルが証明した不完全性定理の内容である。現実世界の全ての可能な真理を生成出来るような有限個の規則の集合というようなものは存在しない。規則自体、それが記述することになっている世界の内にある。現実世界の全ての可能な真理を生成する有限個の規則を求めるということは、自分の靴紐を引張って自分の体を持上げようとするようなものである。これは云われて見れば至極当然なことのように思われるが、ヒルベルト(David Hilbert、1862-1943) は、数学の世界においては、有限個の規則によって全ての真理を生成することが出来るのではないかと考え、その実現を企てた。それが数学の公理化であり、今日、「形式主義」と呼ばれるものである。（ヒルベルト自身は数学的直観・洞察に秀でた真の天才であるから、「形式主義」といっても、形式化することで、実際に何か新しい定理が得られるだろうなどと期待した訳では全然ない。優れた直観・洞察によってのみ得られる深遠な真理を、何とか磐石な基礎の上に据えたいと熱望しただけである。）この夢を砕いたのがゲーデルであった。

ゲーデルは、「真である」ことと「証明出来る」こととの間には永遠に埋めることの出来ないギャップがあることを示した。しかし、「真」と云い、「証明」と云っても、それは何を意味しているのだろうか。それに答えるためには、数学的対象から成る意味論的世界と、記号から成る形式体系の純粋に統語論的な世界との区別を明確にしなければならない。前者はお馴染みの算術とか幾何学とかの数学的リアリティの世界であり、そこでは例えば「2＋3＝5」や「三角形の内角の和は二直角である」は数学的に真なる言明─「真理」─である。一方、後者の形式体系とは、「記号」「記号列」「文法」「変換規則」「公理」から成る全く抽象的な体系であって、

・「記号列」とは、記号の有限な並びを、
・「文法」とは、許容出来る記号列と許容出来ない記号列とを区別する基準の集合を、
・「変換規則」とは、許容出来る記号列に施すことによって、それを別の許容出来る記号列

に変換するような規則の集合を、

・公理とは、許容出来るものとア・プリオリに認められた記号列を、

を云う。また、「証明の連鎖」とは、許容出来る記号列の有限の連鎖であって、各記号列はそれに先行する記号列に変換規則の一つを施すことによって出て来る、ようなもののことである。さらに、或る記号列Tは、Tに至る証明の連鎖が存在すれば、形式体系Fにおいて「証明可能」と云われる。証明可能な記号列全ての集合がFの「定理」である。

形式体系の簡単な例を一つ挙げておこう。「記号」として、●、○、◇の三つだけから成る体系を考える。この体系の唯一の「公理」を○◇とする。また、この体系の「変換規則」を次の通りとする：

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 規則Ⅰ | x◇ | → | x◇● | 規則Ⅱ | ○x | → | ○xx |
| 規則Ⅲ | ◇◇◇ | → | ● | 規則Ⅳ | ●● | → | — |

ここで、xは、記号●、○、◇から成る任意の有限の記号列である。規則Ⅳは、●●が一つの記号列の中に出て来れば、それを消去することである。

さて、記号列○●◇が「定理」であることは、次の様に「証明」される：

（公理）○◇→（規則Ⅱ）○◇◇→（規則Ⅱ）○◇◇◇◇→（規則Ⅲ）○●◇

最終段階での規則Ⅲの適用の仕方を変えれば、○◇●が別の定理として得られる。

公理から定理への中間の記号列は、全て○で始っている。あらゆる記号列がこの特性（○で始る）を持つだろうことは、公理と変換規則をよく見れば分る。これは、体系自体の中で作られた言明ではなく、体系についての陳述である。その体系が内部から云えること（記号列）と、我々がその体系について外部から云えること（それら記号列の特性）とを区別することは、ゲーデルの定理を理解する上で重要である。

さて、この例から分るように、形式体系とは文字通り形式的であり、そこにあるのは規則だけであって、何の意味も存在しない。では、どのようにして形式から内容（意味）へ至るのかと云えば、それは「解釈」によってである。「解釈」は具体的には「辞書」を与えられることによって可能となる（すぐ後に、例を挙げる）。

| 形式体系（統語論） | ← 「辞書」 → | 数学的世界（意味論） |
|---|---|---|
| 記号と記号列 | | ……… |
| 公理 | | ……… |
| 変換規則 | | ……… |
| ↓ | | ↓ |
| 定理 | | 数学的真理 |

もともと、ヒルベルトが形式体系を持ち出したのは、「村の床屋」のようなパラドクスは自然言語における表現の意味論的な内容から発生すると考えたからである。つまり、もし形式体系の記号と記号列が完全に無意味ならば、陳述（記号の連り）はパラドクスから解放されるだろう、と。（「村の床屋」のパラドクスとは、「村の床屋は、自分で髭を剃らない村人全員の髭を剃る。では、この床屋の髭を剃るのは誰か。」というものである。床屋が剃るなら、床屋は剃らない。床屋が剃らないなら、床屋は剃る。）ヒルベルトの試みとは、内的な矛盾から解放されていて、その「定理」が数論の全ての「真理」と完璧に調和するような形式体系を見つけようとするものであった。ヒルベルトは本質的にラッセル型のパラドクス（「村の床屋」）が数学的真理の世界に潜んでいるとは信じていなかった。彼の考え

では、通常の言語と数学とを分けている境界線をラッセル型のパラドクスが越えてしまうのを防ぐ方法とは、数学的真理の世界全体を形式化することであった。そうしたヒルベルトの夢が不可能であることを示したのがゲーデルである。

そこで、ゲーデルの不完全性定理であるが、その前に、形式的体系の「解釈」について例を挙げておきたい。形式的体系Fとして、次の公理系を満たすような体系を考えよう：

公理１　全てのx、yについて、$x*y=y*x$

公理２　全てのx、y、zについて、$x*(y*z)=(x*y)*z$

公理３　或るeが存在して、全てのxに対して、$x*e=x$

この形式的体系の解釈は無数にあり得るが、そのうち四つばかりについて「辞書」を挙げて見よう。この「辞書」によって夫々の「解釈」が可能となるのである。

〔辞書A〕　x、y、z　→　整数、　e　→　0、　＊　→　＋（加法）

〔辞書B〕　x、y、z　→　整数、　e　→　1、　＊　→　×（乗法）

〔辞書C〕　x、y、z　→　どれも1、　e　→　1、　＊　→　×（乗法）

〔辞書D〕　x、y、z　→　自然数、　e　→　1、　$x*y=\max\{x, y\}$（どちらか大きい方）

さて、ゲーデルの定理についてであるが、或る数学世界をMとし、それの解釈として形式体系Fを考えよう（上の例とは逆にMからFへの解釈である）。$T_1$、$T_2$、…を、Fの内部で証明可能な全ての定理のリストとする。また、Mで真なる言明Aに対応するFの記号列を$P_A$とする。どんな$P_A$も$T_1$、$T_2$、…の中に必ず現れるならば、Fは「完全」であると云われ、どんな$P_A$についても、$P_A$と非$P_A$とが共には$T_1$、$T_2$、…の中に決して現れることがないならば、Fは「無矛盾」であると云われる。完全性や無矛盾性なる性質を持つという言明は、Fの内部で表現可能な言明（記号列）ではなく、Fに関して外からなされる言明である。

ヒルベルトの夢というのは、可能的な数学的真理Aは全て形式体系Fの定理$T_1$、$T_2$、…の中に取込めるだろう（$\forall A$、$\exists k$、$P_A=T_k$）というものであった。つまり、真なる主張はどんなものであろうと、全て形式体系において証明出来なければならない。これに対して、ゲーデルの不完全性定理は次のように告げる：(1) 有限回で記述可能であり、(2) 無矛盾であり、(3) 初等的算術の基本的事実を証明出来る程度に強力であるような、どんな形式的体系Fについても、a) Fは不完全であり〔第一不完全性定理〕、かつ、b) Fは自分自身の無矛盾性を証明出来ない〔第二不完全性定理〕。

第一不完全性定理の証明の要点は、ゲーデルが、「この文はFによっては証明出来ない」ということを表現する記号列G—ゲーデル文—を実際にFの中で作って見せたことにある。もしこのGが証明出来たとすると、G自身が云っていることに矛盾するが、この体系は無矛盾であると仮定しているのだから、結局、Gは証明出来ないということになる。そうすると、Gは真であり、Gを証明することは出来ない。よって、この体系は不完全である。

これをもう少し正確に云えば、やや長くなるが、次のようになる[2]（ただし、これとて証明の筋道を示しただけであり、証明そのものではない）：

１）全ての記号、全ての記号列を、或る自然数で表す。

或る数を表す記号列、例えば“1117”も、同じやり方で一つの数に置換えられる（もとの数より桁違いに大きくなる）。

或る記号列を表す数（暗号）をその記号列のゲーデル数という。ゲーデル数からもとの記号列を正確に

復元出来る（暗号の解読)。

2）この暗号化により、「表現する」のが自然数、「表現される」のが（論理式を含む）記号列、という構図が現れる。ゲーデルは次のような性質を持つ論理式を具体的に作って見せた（ここではW (n) と略記)：

W (n) ⇔ nは或る論理式のゲーデル数である（nが表現している記号列は一つの論理式である）

更に、ゲーデルは「論理式である」ことを表現する論理式Wだけでなく、次のような論理式Provableや関数subなどをも具体的に構成出来ることを示した：

Provable (m) ⇔ mは或る論理式のゲーデル数であり、しかもその論理式は体系Fの中で証明出来る、

sub (m、n、k) ＝“mが表す記号列$\alpha$の中の、nが表す記号列$\beta$を、kが表す記号列$\gamma$で置換えて得られる記号列”のゲーデル数、

g (m) ＝“自然数mを表す記号列”のゲーデル数、

neg (m) ＝“mが表す記号列の前に、否定記号－をつけ加えて得られる列”のゲーデル数.

Provableとは勿論略号に過ぎない。ゲーデルはその中身をFの中の形式的な論理式として具体的に書けることを示したのである。

3）文字xのゲーデル数を仮に17とする。

① m、n＝0、1、2、… に対し、$p_{mn}$＝sub (m、17、g (n)) と置く。$p_{mn}$は、「ゲーデル数mが表す記号列中の文字xを自然数nで置換えて得られる記号列」のゲーデル数である。

② $p_{m0}$、$p_{m1}$、$p_{m2}$、… を第m行に並べる (m＝0、1、2、…)。

③ mは論理式を表現しているとは限らないから、$p_{mn}$の大部分は「訳の分らない出鱈目な記号の列」を表現している。mが論理式P (x) のゲーデル数の場合には、

$p_{mn}$＝sub (m、17、g (n)) ＝「P (x) の中のxをnで置換えて得られる記号列」のゲーデル数
＝P (n) のゲーデル数

である。即ち、第m行には、P (0)、P (1)、P (2)、… のゲーデル数が並んでいる。

④ G (x) ＝－Provable (sub (x、17、g (x))) は、体系Z中の一つの論理式であるから、そのゲーデル数を仮に1117とする。第1117行には、G (0)、G (1)、G (2)、… のゲーデル数が並んでいる。

⑤ そこでG (1117) を考えて見よう。

G (1117) ＝ －Provable (sub (1117、17、g (1117)))

⇔ sub (1117、17、g (1117)) が表している論理式は証明出来ない

⇔ 「G (x) の中のxを1117に置換えて得られる記号列」のゲーデル数が表している論理式は証明出来ない

⇔ 論理式G (1117) は証明出来ない。

4）すると、G (1117) も、その否定－G (1117) も、証明出来ない。

もしG (1117) が証明出来たとすると、G (1117) 自身が云っていること（⑤）と矛盾する。

もし－G (1117) が証明出来たとすると、G (1117) は「G (1117) は証明出来ない」ことであったから、「G (1117) は証明出来ない」ことの否定が証明出来ることになる。論理の法則から二重否定は肯定と同等なので、結局、「G (1117) が証明出来る」ことが証明出来る。これは実質的に（形式的には或る仮定$\omega$のもとで)、G (1117) が証明出来る、ことと思ってよい。これも矢張り矛盾である。

5）よって、体系Fが無矛盾ならば、Fは不完全である。

以上のことを超数学の立場できちんと述べれば、Fの不完全性の証明になる。G (1117) は肯定も否定も証明出来ない。これがゲーデル文である。

数論を表す特定の形式体系をＦとし、自然数について語られ得る全ての命題を四角形の領域で表そう。領域は、最初、すべてが灰色に塗られているとする。形式体系Ｆの規則を適用することで、或る命題が真だと証明されると、その命題を白く塗る。偽だと証明されれば、黒く塗る。ゲーデルの定理は、永遠に灰色のままで残る命題（ゲーデル文）が常に存在するだろうと述べている。四角形全体を白と黒とで塗り尽くすことは永遠に出来ない。この灰色のままで残る命題は形式体系ごとに異るが、如何なる形式体系にとっても、その体系において肯定も否定も証明出来ない命題が、少くとも一つは存在する。このような命題は、「Ｆにおいて決定不可能である」と云われる。ゲーデルはそのような命題を具体的に構成する方法を示したのである。そして、そのような命題を公理とし、それをもとの公理群に追加して新しい形式体系を作ると、新しい体系はそれ自体の決定不可能な命題を持つ。そこで今度はそれを公理として公理群に追加し、更に新しい体系を作れば、今度はその体系自体が決定不可能な命題を有する。このような操作はどこ迄も続けることが出来る。

ところで、新しい体系を作ろうとする度に道は二つに分れる。或る命題が決定不可能ならば、それを否定した命題も決定不可能なので、どちらを公理として採用しても矛盾は生じないからである。こうして、互いに異る数学が無限に存在し得ることが、ゲーデルの定理から導かれることになる。

さて、本章冒頭で紹介したチャイティンであるが、彼によれば、数学の本当の目標は洞察を得ることにあるのであって、単に証明することにあるのではない。不完全性定理について云えば、ゲーデルの証明は「なぜ不完全性なのか」について深い洞察を与えるようなものにはなっていない。それは論証のステップを追っているだけであり、隠されている問題の核心を捕まえているようには思えない、と[3]。彼の研究の目的は、不完全性の背後にある深遠な理由を探求することにあった。

## §2. 純粋数学における偶然

法則に支配された世界とそうでない世界（ランダムな世界）との違いは、どうしたら示すことが出来るか。この問題を始めてはっきりさせたのがライプニッツ（Gottfried Wilhelm Leibniz、1646-1716）であったとチャイティンは云う[4]。チャイティンは『形而上学叙説』の第６節に基いてそう云うのであるが、その箇所を原典から引いて見よう：

> この世界には絶対的に不規則なことなど何一つ起らないだけでなく、そうしたものを考え出すことさえも不可能である。…誰かが紙の上に出鱈目に多数の点を打ったとしよう。この場合でも、私は、…それら全ての点を通るような幾何学的曲線を見出せると云いたい。…例えば人の顔にしても、その輪郭が幾何学的曲線の一部でないような顔、一定の規則的運動によって一息に引けないような顔は一つも存在しない。しかし、<u>規則が非常に複雑な場合には、規則に適うものがかえって不規則と見做される</u>のである[5]。

（x、y）平面上に、出鱈目に三つの点（a、A）、（b、B）、（c、C）を打ったとしよう。これら三点を通る曲線の方程式は、

$$y=A(x-b)(x-c)/(a-b)(a-c)+B(x-a)(x-c)/(b-a)(b-c)+C(x-a)(x-b)/(c-a)(c-b)$$

で与えられる。（例えば、xにaを代入すると右辺はＡになる。同様に x＝b とすれば y＝B

となり、x＝c とすれば y＝C となる。）四点以上の場合でも、方程式の次数が高く、項数が多くなるだけであり､いつでも方程式を具体的に書き下すことが出来ることに変りはない。

こうして、秩序から外れるようなことは何一つ起らないのであるが、問題は下線を付した箇所にある。あまりにも秩序が複雑で精妙な場合には、我々は逆にそれをランダムだと見做してしまうのである。出鱈目に打った点の数が極めて多い場合、それら全て通る曲線の方程式の次数は極めて高くなり、項の数は極めて多くなる。かくて、法則に支配された世界とそうでない世界との違いとは、法則が簡単か複雑かの違いに過ぎない。

では、どうすれば法則の複雑さを測ることが出来るだろうか。これを考察したのがチャイティンである。チャイティンは、法則の複雑さをそれが説明しようとするデータの複雑さと比較することを考えた。つまり、データよりも単純な、望むらくは大幅に単純な場合に限り、法則は「法則」と呼ぶに相応しいものだと云える。これを計算機の言葉で云えば、実験データが圧縮されてコンピュータ・プログラムとなり、それが説明しようとするデータよりもビット数が少なければ、そこには法則があるのだ、ということである。圧縮の程度が大きければ、それだけその法則は優れており、データが深く理解されていることになる。逆に、データが圧縮出来ない場合、つまりそれを計算する最小プログラムがデータと同じ大きさならば､データは複雑であり､そこに法則はなく､つまりランダムなのである。例えば、次の１、０から成る二つの数列を較べて見よう：

数列Ⅰ　101010101010101010101010101010101010101010101010101010101010

数列Ⅱ　100011100101010100001010100010100010101000001010100011010100

数列Ⅰは「10 を 30 回繰返せ」という短いプログラムで作れる（圧縮可能）が、数列Ⅱは数列自体をそのまま書き下す以外に方法はない（圧縮不可能）。つまり、Ⅰは法則に従うが、Ⅱは複雑であり、ランダムなのである。かくて、ランダムとは圧縮不可能なことだというのがチャイティンの達した結論である。

以上は数列のランダム性についてであったが、数がランダムであるとは、その数を構成している数字の列がランダムなことをいう。例えば、$\sqrt{2}=1.41421\cdots\cdots$ はランダムな数ではない。何故なら、開平のアルゴリズムが存在し、$\sqrt{2}$ の数字の列は、小数点以下、任意の桁数まで計算出来るからである。つまり、$\sqrt{2}$ は開平の計算式に圧縮可能である。こうして $\sqrt{2}$ はランダムな数ではないが、実は、驚くべきことに、殆ど全ての数がランダムなのである。以下、二進法で考えよう。長さ n の二進数は n 個の１または０から成る。その総数は $2^n$ 個である。これらのうち（$n-5$）以下のビット数で符号化される数の個数は $1+2+4+\cdots+2^{n-5}=2^{n-4}-1$ である。その割合は $(2^{n-4}-1)/2^n<2^{-4}=1/16$ である。即ち、僅か 16 個に一個だけが､その数自体よりも少くとも５ビット短いプログラムによって記述され得る。同様に、僅か 500 個に一個の数が、その数の長さよりも 10 ビット以上短いプログラムによって生み出される（$2^{-9}=1/512$）。このような論法を用いて、$n\to\infty$ とすると、複雑さが最大限に達していない数の集合は、全ての数の集合の無限小と云える程小さな部分集合となることが示される。

このように殆ど全ての数がランダムであるにも拘らず、任意に選ばれた数がランダムだと証明することは不可能であることを、1965 年に、チャイティンが発見した。

この「チャイティンの定理」は次のように表せる：形式体系Ｆが、(1) 有限に記述可能であり、(2) 無矛盾であるならば、次のような数 x が存在する：x よりも複雑な数が存在

することをFでは証明出来ない。

この定理の証明の背後にあるのは、次のような単純な考えである。例えば、「10 字で表せない最小数」を考えよう。もしそれが存在するなら、それは10字で表せる（「」の中には丁度10個の文字がある）のだから、矛盾である。同じように、上記定理において、どんな数よりも複雑な数の存在を F で証明出来るならば矛盾が発生することを示せるので、x のような数が存在せざるを得ないという結論になる。

この定理は、我々が何かプログラムを持っていれば、そのプログラムが生み出せる最も複雑な数であるような有限数 x が常に存在する、ということを云っている。しかし、我々は、それよりも大きな複雑性を備えた数を容易に作ることが出来る。それには、x を示す数列の後に、硬貨を投げて表が出れば1を、裏が出れば0を、つけ加えて行けばよい。このことは、より複雑な数が存在するに拘らず、F はこの事実を証明出来ないことを示している。つまり、正しいのに証明出来ない言明が存在する訳で、チャイティンの定理は、その系としてゲーデルの定理を含むことが分る。チャイティンの定理の方がゲーデルの定理よりも広いのである。

チャイティンの定理は、喩えて云えば、100 ポンドの妊婦が 200 ポンドの赤ん坊を産めないのと同じで、10 ポンドの理論は 20 ポンドの定理を作り出せない[6]。我々の理論的言明が何か意味のあることを云い得る対象の複雑さには或る一定の限界があるのである。このように、チャイティンは、数学に本来備わっているランダム性が、ゲーデルの不完全性のより深い原因ではないかと考えるようになった。

チャイティンによれば、理解とは圧縮である。つまり、理解とは、多くの事実を少数の理論的仮説を用いて説明することである。ところが、この世界には巨大な数学的真が存在しており、それはほぼ無限の情報量を持つので、どのような公理集合が与えられたとしても、この厖大な情報の中から、ほんの些細な有限個の情報しか把握出来ない。このことこそが、ゲーデルの不完全性が不可避なものである理由なのである。

さて、それでは、本章の冒頭で予告しておいたΩに話を移すことにしよう。後の第5章で見るように、チューリング（Alan Mathison Turing、1912-54）は、あらゆる形式体系は適切に設計された計算機―チューリング・マシン―に等価であることを示した。そして、或るプログラムが有限回のステップの後に停止するかどうかを前もって告げるような一般的手順（アルゴリズム）は存在しないことを証明した（1936 年）。これは「停止問題」と呼ばれるが、ゲーデルの不完全性定理と論理的に同等である。

さてチューリングが或る一つのプログラムに着目し、それが停止するかどうかを問うたのに対して、チャイティンは、全ての可能なプログラムの中から任意に一つを取り出したとき、それが停止する確率Ωを問題にした。このΩは「停止確率」と呼ばれるが、それが

$$\Omega = \Sigma_{\text{停止プログラム p}}\, 2^{-\,(\text{pのビットサイズ})}$$

で与えられることをチャイティンは証明して見せたのである。詳細は省略せざるを得ないが、停止する k ビットの自己限定プログラム p は、Ωの値に $1/2^k$ だけ貢献するというのが、この式の意味である。和（Σ）は、全ての停止プログラムについての和である。そして、チャイティンは、このΩを二進数展開したときの各桁の数字（1か0）がディオファントス方程式を用いて得られることを示した（1987 年）。

問題はこのΩの持つ性質である。Ωの各桁の数字は上記のように明確な数論の事実に対応して決定されるにも拘らず、Ωは次のような驚くべき性質を有する：

(1) Ωは計算不可能である。Ωを具体的に書き下すアルゴリズムは存在しない。

(2) Ωはランダムである。つまり、Ωは圧縮不可能であり、Ωの最初のnビットを計算するプログラムは、少くともnビットの長さが必要である。

(3) Ωは正規である。即ち、Ωを構成する1と0とは正確に同じ頻度で出現する。

これらは、つまりは、Ωの数字の並びは、硬貨投げの結果（表が出れば1、裏が出れば0）と区別がつかないことを意味する。Ωのビットには構造がなく、パターンがない。推論しようにも何も出来ない。Ωのビットを形式体系から得る唯一の方法は、それらのビットをそのまま公理として採用するほかにない。結局、このΩという数の存在は、推論が全く役に立たない純粋数学の領域が存在することを示す。まさに、神は、純粋数学においても骰子を振っているのである。

これらの性質のうち、正規性については、1と0とが正確に同じ頻度で出現するだけでなく、1、0の任意のn個組が出現する相対頻度の極限は正確に$1/2^n$となる。例えば、(0、0、0、0、0) や (1、0、1、1、0) などの五つ組がΩの二進展開中に現れる頻度の極限値はどれもが正確に$1/2^5=1/32$である。さらに、Ωをr進展開（rは何でもよい）した場合には、$r^k$個のk桁の数字が出現する頻度の極限値はいずれも$1/r^k$となる。極限においてはどれもが等しく出現するのである。何故そうなのかと云えば、相対頻度が不均一ならば、Ωを展開した数列は、不均一さの程度に応じて、高度に圧縮可能になってしまうからである。

ところで、正規性とは何を意味するのだろうか。アルファベット26文字は夫々を5桁の二進数で表すことが出来る ($2^5=32>26$)。そこで『ハムレット』に使われている総アルファベット数をNとすると、『ハムレット』は、1、0の5N個組に置換えられることになる。極限において、即ち、Ωの二進展開を無限に続けたとき、『ハムレット』を表すこの特定の5N個組は、他の任意の5N個組と全く同じ頻度で現れる（どの5N個組も頻度$1/2^{5N}$）。これは、Ωが『ハムレット』を含む、それも無限回含むことを意味している。同様に、Ωには、1、1、1、……と1が百万回連続する部分が何箇所も存在する。完全に「ランダムな」数Ωがまさにこうした極めて「秩序だった」性質を持つのである。

### §3. 単純／複雑

円周率πの厖大な十進展開3.141592653……の中から、適当な長さに切り出したものを、πの十進展開の一部だとは告げられずに見せられたならば、そこには何のパターンも見出せず、ランダムな数字の並びとしか見えないだろう。しかし、πには任意の精度で計算するためのアルゴリズムが存在する。これに対して、上記のΩにはアルゴリズムが存在しない。つまりπは圧縮出来るが、Ωは圧縮不可能であり、云いかえれば、πは有限の計算量しか持たないのに対し、Ωは無限の計算量を有する。

さて、では、宇宙はπのようだろうか、Ωのようだろうか。これがチャイティンの最終的な問である[7]。彼は次のように論じている：もし我々が量子力学を信じるのであれば、自然は骰子を振ることになり、それは、例えば我々のDNAに保存される「凍結された偶然」即ち突然変異のように、複雑さ、それも無限の複雑さを生み出し、世界は理解不可能とい

うことになる。一方、世界は非常に大きな計算量を持つように見えるだけであり、実際にはπのように有限な計算量しか持たないという見方も可能である。この場合、世界は非常に複雑に見えるけれども、ランダム性は存在せず、疑似乱数だけがあることになる。

一体、どちらだろうか。それが誰に分るだろうかというのがチャイティンの結論である。それは時間が解決するか、あるいは、世界の内部からでは決して分らないのだ、と。

さて、筆者の考えであるが、時間がこうした問題の解決に役立つのかということは兎も角として、チャイティンの問の立て方そのものに疑問がある。πかΩかを問うことは、結局、この宇宙を支配しているのは必然性か偶然性かを問うことと変わらないのではないか。そうした二者択一的な問い方以外に道はないのだろうか。これこそが筆者の問題としたいところである。しかしそれについては第５章以降で論じることにして、ここでは、複雑とは圧縮不可能なことであるとする見方にも、次のような問題があることを指摘するにとどめておきたい。

猿がタイプライターを出鱈目に打てば、圧縮不可能な記号列が出現する。それを他人に伝えるにはそれをそのまま伝達するしか方法はなく、それ以上単純化することは出来ない、その意味で猿の打ち出した記号列は複雑極まりないものである。だが、しかし、それはシェクスピアの悲劇が複雑であるのと同じ意味で複雑であろうか。猿が打出したものには、何の構造も筋立もないのだから、これ以上に単純なものは存在しないとも云えるだろう。猿の打ち出した文書がダンボール箱の山をなしたとしても、最初に打ち出した一行以上に複雑さが増えている訳ではない筈である。

そもそも「圧縮」とは、何を圧縮するのか。それは、本来、「意味」を圧縮するのではないのか。猿の記号列の場合、圧縮しようにも圧縮すべき意味がないのである。意味のないところに要約はない。

こうして「意味」が問題になって来る。第１章で述べた「相互に独立な因果系列の交叉の目撃としての偶然」にしても、交叉を交叉として捉える目（「目撃」）が必要である。そこに意味がかかわり、主観がかかわる。そうでなければ、交叉自体は無数にあり、同時に生じていること全てが偶然ということになってしまう。こうして、前章の自然的偶然、そして本章の数学的偶然の後を受け、次章では「偶然」を「意味」との関係を論じることになる。

1．Chaitin,G.J.(1998)の邦訳第５章。

2．野崎昭弘（2006）247－57頁を参考にした。

3．Chaitin,G.J.(2005) 邦訳 37-9 頁。

4．同 91-3 頁。

5．Leibniz,G.W.(1686) 邦訳 381-2 頁（下線は筆者による）。

6．Casti,J.L.（1994)の邦訳 195 頁に、ジョージア工科大学のジョゼフ・フォードの言葉として引用されている。

7．Chaitin,G.J.(2005) 邦訳273-5頁。

## 第3章　意味的偶然

### §1．共時性

第１章では、九鬼の偶然をもとに、偶然とは「相互に独立な因果系列の交叉の目撃」のことであろうと論じた。「交叉」とは同時に生起することであり、目撃とはそれを「意味」のあることとして注視することである。このように考えれば、偶然とはユング（Carl Gustav Jung、1875-1961）の云う「共時性」に他ならない。「いま、共に在る」ことに驚くのである。

ユングの治療を受けていた或る婦人が、治療が決定的な段階に差し掛かっていたとき、黄金の神聖甲虫（スカラベ）をもらった夢を見た。彼女がこのことをユングに報告していると、ユングの背後の窓をトントンと敲くものがある。振り返って見ると、それは神聖甲虫によく似た黄金虫が窓にぶつかっているのであった[1]。

この場合、婦人が神聖甲虫の夢を語るという系列と、黄金虫が窓にぶつかって来るという系列とは、相互に独立であり、しかも、それぞれの系列は因果の関係によって説明出来るだろう。しかし、その二本の系列が交叉し、それをユングとその患者が重く受けとめたということは、因果律では説明出来ないことである。このような「意味のある偶然の一致」をユングは「共時性」と呼ぶ。治療の決定的な段階でそのような出来事が生じ、患者は急速に回復した。この事実を説明するためには、因果律だけでは不十分であり、共時性という見方が必要である、とユングは考えた。この場合、婦人が語り、黄金虫が窓を打ったそのとき、それらとは独立に、他にも無数のことが生じていただろう。共時性ということが云えるためには、「意味」を感じる主体の存在が必要である。黄金虫が窓を打ったことが意味を持つのは婦人とユングに対してだけであり、他の人間にとっては何の意味もない。

ところで、この世界の現象は因果律と共時性という二つの原理によって説明されるとした場合に、どちらの原理に重きを置くべきなのか。ポアンカレの「男と屋根師」のように、因果律のみで説明しようとする試みもある。その場合何と何とが同時に生じたかは、出来事の説明原理とならない。一方、ユングは因果律だけでは不十分だとした。つまり、自然界の出来事は各種の力の因果関係を通じてだけではなく、宇宙の底に横たわる様々なパターンから生じると考えたのである。それで、ユングは共時性のことを「非因果的連結原理」とも呼んだ。この非因果的連結は、ユングと共著で『自然現象と心の構造』を書いた物理学者パウリ（Wolfgang Ernst Pauli、1900-58）がまさに「排他原理」によって提唱しようとしていたことに他ならない[2]。素粒子は大きくフェルミオンとボソンとに二分される。電子のようなフェルミオンは排他律に従い、同じ種類の粒子が同時に同じ状態になることは出来ない。一方、光子のようなボソンは反排他律に従い、同じ種類の粒子は同時に同じ状態になろうとする。粒子のこのような振舞は非因果的なもので、宇宙の底に横たわる或る抽象的なパターンから生じるというのがパウリの主張である。彼は、粒子と力の両方を、実在のより深いレベル、即ち量子場というレベルが現れる姿として記述した。

共時性のウェイトをさらに高めた見方としては、ライプニッツの予定調和の考えや古代中国における易経がある。

前者について云えば、各モナドはそれら自身の内に宇宙のパターンのイメージを持って

いる。モナドは「窓を持たない」けれども、それは「宇宙を映し出している、永遠の生きた鏡」である。そして、「どの物体も、宇宙の中で起る全ての出来事を感知するから、仮に何でも見える人がいるとすると、その人の目には、各物体の中のあらゆる所で今起っていることだけでなく、今まで起ったこと、これから起るであろうことまで読み取ることが出来るであろう」[3]。

後者について、易は、陽爻（直線——）と陰爻（破線－ －）の組合せから宇宙の「非因果的平行関係」を読み取ろうとする。古代中国における宇宙の主要原理は、因果律でもなければ、目的論でもなく、世界の様式の中に内在している微妙で隠された「符合」の原理であった。矛盾する二つは互いに相容れず、排斥し合うが、陰陽はそうではない。陰があっての陽であり、陽があっての陰である。つまり、陰と陽とは、相手があることによって自分の存在の意味も明らかになるのである。

ユングの共同研究者であったフォン・フランツ（Marie-Louise von Franz、1915-）によれば、古代中国人の共時的思考は「場」の思考とも云えるものである。彼等の関心は、何故これが生ずるのかとか、どのような要因がこの結果の原因となっているのかといったことにはなく、何と何が同時に生じているかということにある。彼等は精神的事実と物理的事実の間に区別を設けない。それらの両方を考慮するのが共時的思考法の本質だからである。ユングのスカラベと同様に、これこれの考えを思いついたり、しかじかの夢を見た丁度その時に、或る種の外的物理的事象が起ったことに、この思考法は注目を払う[4]。

ところで、「意味のある一致」とは、それまで隠れていた秩序が何かの拍子で一瞬この世界に現れ出、それが或る主観の注視するところとなることだと云えるが、その場合、「隠れた秩序」とは如何なるものであろうか。そこからは精神的なものと物質的なものとが共に出現して来ているに違いない。精神と肉体とが同一の基盤に由来しているのでなければ、それらが相互に影響を及ぼし合うことは出来ないだろうからである。しかし、これについてはさらに準備をした後、第6章で論じることにしたい。

### §2. ヴェーダーンタ哲学

取りあえず精神に限定した場合には、隠れた秩序としてどのようなものが考えられるだろうか。ユングは、心の隠れた秩序の究極的な源泉は「集合的無意識」であると考えた。これをさらに押し進めれば、各人の心は深層で一つに繋がっており、結局、自我は一つしかないのだ、という考えに行き着くだろう。シュレーディンガーは『わが世界観』で次のように述べている。

> 谷の斜面にはハンノキの潅木が茂り、眼前には氷河で削られた力強い山々が深遠の幽谷からそそり立っている。そして、いま、なだらかな雪原とごつごつした岩肌が、沈みゆく太陽の最後の陽を浴びて軟らかくバラ色に染まり、透明な淡い青空と素晴らしい対照をなしている。
>
> この光景は、あなたが存在する以前から何千年もの間そこにあった。暫く後に（そう遠くではない）、あなたは存在しなくなるだろう。それでも林や岩や青空は幾千年も変わることなくそこに存在し続けるだろう。
>
> かくも突然に無からあなたを呼び覚まし、あなたには何の関係もないこの光景を

ほんの暫くの間あなたに楽しむようにさせたものは一体何なのであろうか。…

おそらく百年前にも誰かがこの場所に座り、暮れなずむ万年雪の山頂を眺めていたことだろう。あなたと同様に彼もまた、父から生まれ、母から産まれた。彼は誰か別の人であったのだろうか。それはあなた自身ではなかっただろうか[5]。

こうしてシュレーディンガーは、自我の多数性は見掛けだけであり、本当は唯一の自我があるだけだというヴェーダーンタ哲学と同じ考えに達したという。シュレーディンガーは次のように論じる[6]：

各人の肉体ごとに自我が一つずつあるとしよう。自我と世界とは同じ経験的要素から成っているから、世界と呼ばれるものは、自我の中に存在する一つの複合体に過ぎない。他方、私の肉体は、世界というこの複合体の中に存在する一つの複合体である。そうすると、世界と呼ばれるものは、その僅かな部分―個々の自我―の破壊によって完全に消失することになってしまう。

逆に、世界だけが存在して自我が存在しないとしよう。その場合には私の肉体の破壊によって世界が終焉を迎えるということはない。しかし、では、ほかならぬこの肉体が他の全ての肉体から区別されるのは何故なのか。

シュレーディンガーによれば、意識は常に単一のものとして経験される。精神分裂とか二重人格とかいうような場合でも、二つの人格は交互に現れるのであって、二つが同時に現れるということは決してない。もし意識というものが単一のものではないとすれば、何故、一人の人間の意識の中でその多様性が現れて来ないのか。その場合、自我の統一性の基盤を肉体の統一性に置くことは出来ない。何故ならば、肉体の統一性は相対的なものに過ぎず、細胞、器官、人体、家族、国家と続く一連の統一体の階層の中で、体だけを特別視する理由はないからである[7]。

ヴェーダーンタ哲学は『ブラフマ・スートラ』（五世紀前半）を根本経典とするが、注釈家シャンカラ（Śankara、700頃 - 750頃）によれば、ブラフマンが現象世界を創造するのは単なる遊戯（līlā）であり、そうしてつくられた世界は魔術師によってつくり出された幻影（māyā）のようなものに過ぎない。実在するのは純粋に精神的な、唯一の世界原因であるブラフマンのみである。

人間を含めた一切のものは、ブラフマンの中にある「未開展の名称・形態」から開展したものである。そこから先ず「虚空」が開展し、ついで風、火、水、地と、順次、五元素が生起する。これらの五元素から身体や各種機官が開展された後、ブラフマンはアートマンとしてこの身体の中に入る。アートマンとブラフマンとは「不一不異」である。

明け方、森を歩いていると、縄を蛇と見誤ることがある。縄に蛇が「附託」されたのである。それと同じように、アートマンの本性である意識が、物質的な統覚器官に附託されるとき、統覚器官はアートマンの形相をとって、アートマンのようなものになる。これが「私」の正体である。このように、シャンカラにとって、「私」とは真のアートマンではなく、無明の産物であり、幻影のように実在しない。正しい知によって、そのような誤った附託が消滅すること、それが「解脱」である。それ迄の間は人間はこの幻影の世界において生死を繰返す（輪廻）のである。

この世において何者も、多様に（＝別異に）存在しないとは、ただ思考力によって

のみ、考察されるべきである。この世において（万物を）、多様である（＝別異である）かに見なす者、彼は死から死に至る[8]。

現象世界はブラフマンの戯れる偶然のゲームに過ぎず、そこには何の意味も目的も存しないとすれば、では、何故、シュレーディンガーはそのようなヴェーダーンタ哲学に魅せられたのだろうか。それは、この世界に自我が複数あるとすれば先に見たような解き難い矛盾に陥るが、世界にただ一つの自我しかないのならば矛盾は生じないからである。そして、百年前にも、同じ場所で、暮れなずむ万年雪の山頂を眺めていたであろう彼、その彼は私とは違う誰か別の人であったろうか、という疑問にも答えてくれる。しかし、それだけではない。シュレーディンガーが強調するのはこの哲学の持つ倫理的側面である。彼は次の詩句をバガヴァッド・ギーターから引く：

全ての有情の中に等しく安立する最高の自在主を、たとえ有情が滅しても、不滅であると見る者は、（自在主を如実に）見る人である。

何故なら、あらゆる場所に等しく安立する自在主を見る者は、自ら自己を害うことはない。それ故に、彼は最高の境涯に到達する[9]。

この詩句には、一切生類への慈悲と慈愛が至高の達成可能な目標として讃嘆されているとシュレーディンガーは云う。他を害うことは自を害うことにほかならないからである。一方、前世の行いが現世の境遇を決めるという輪廻の思想については、そのような考えは社会の不公平の是認に繋がるという理由から、シュレーディンガーは賛同しない。

以上を要するに、ヴェーダーンタ哲学は、この世界はブラフマンの戯れる偶然の遊戯に過ぎないと説くが、出来事が偶然と見えるのは、深く隠された秩序を我々が知らないからである。ヴェーダーンタ哲学では「不一不異」とか「未開展の名称・形態」とか一見意味不明な言葉を多用するが、しかし、既に量子力学の論理を知っている我々にはそれ程奇異には感じられない。素粒子や宇宙という極微・極大の世界、あるいは深く隠された秩序を表現するには、日常の言語では不十分なのである。

### §3. 高次元からの射影

偶然と見える物事、ばらばらに生じているように思われる出来事も、次元を上げて見れば、そこでは連続し、繋がっているのかも知れない。ジェット・コースターの走る曲線軌道が地上に落とした影を見ると、線はところどころ鋭く尖り、また線と線とは複雑に交叉し合っている。勿論、三次元における本物の軌道は滑らかな曲線を描いているし、交叉することもない。しかし、ジェット・コースターの二次元の影しか見たことのない人にとっては、それは思いもよらないことであろう。

図形の中の鋭く尖った点や線と線とが交叉した点のことを、代数幾何学では「特異点」と呼ぶ。特異点のある図形は、どうすれば特異点のない図形に変換することが出来るか。これが広中平祐の取組んだ問題であり、「特異点解消」問題といわれる。ジェット・コースターの例で云えば、地上の二次元の図形を三次元の空間中の軌道にまで持ち上げて（次元を上げて）考えれば、特異点は解消されるのである。

この数学上の問題に取組むにあたって、広中が密かに考えていたことがある。この世界は不条理なことで満ちており、この世界で起ることは意味のない偶然事ばかりであるかの

ように見えるとすれば、それは何故であろうかということであった。それは、我々が影しか見ていないからであり、仏の世界においては特異点は残らず解消されているであろう、それが広中の考えていたことである[10]。

偶然に見える物事も、高次元においては然るべく繋がっている。それは、日常の世界のこととしては一つの仮説に過ぎないとしても、数学の世界においては、広中の特異点解消に限らず、普通に見られることである。つまり、対象を一段上のレベルに置くことで、それの持つ特質や意味が明らかになるのである。整数に関する問題も、整数の世界だけで考えていたのでは解けないが、実数の世界に置くことで解けるということはよくあることである。整数の世界から実数の世界に上がれば、そこでは微分や積分が可能である。それらを駆使して得られた結果を、整数の世界に戻すのである。実数の問題を「虚数」の世界で考えるというのは象徴的なことである。フェルマーの最終定理は、四百年近く解けなかったとは云え、問題自体は簡単な代数方程式である。しかし、それは、ゼータ関数論という深く広大な世界に問題を移すことによって、始めて解かれたのであった。これらは単に手法や手段の話ではない。偶々そうなっているのではなく、それには深い意味があるのだということが、高次の世界に置かれることで、始めて明らかになるのである。

このように、数学の世界では、偶然と見えるものに、実は深い意味があったということはよくあることである。そうだとすれば、日常の世界においても、同じことが起っているとしてもおかしくはない。つまり、高次の隠れた秩序が三次元に射影された結果を、我々は偶然としてしか見ていないのではないかということである。では、隠れた秩序としてどのようなものが考えられるか、それは第６章で考察することにして、ここでは、「発見」の問題を見ておこう。

「発見」も偶然に起るように見えるが、実はそうではなく、隠れた秩序が発現するのである。多変数解析関数論で前人未踏の領野を切開いた岡潔は、自らの発見の経緯を次のように振り返っている。それは、中谷宇吉郎に誘われて北大で一夏を過ごしたが、眠ってばかりいるので嗜眠性脳炎というあだ名をつけられただけで、成果もなく、ぼつぼつ広島に帰らなければならない日が近づいた朝に起った。

> 全く分らないという状態が続いたこと、その後に眠ってばかりいるような一種の放心状態があったこと、これが発見にとって大切なことだったに違いない。種子を土に蒔けば生える迄に時間が必要であるように、また結晶作用にも一定の条件で放置することが必要であるように、成熟の準備が出来てからかなりの間をおかなければ立派に成熟することは出来ないのだと思う。…意識の下層に隠れたものが徐々に成熟して表層に現れるのを待たなければならない。そして表層に出て来た時はもう自然に問題は解決している[11]。

岡によれば、発見は、①突然やって来る、②全体が一挙に分る、③疑いを伴わない、④鋭い喜びを伴う、という。

ポアンカレも、自らの発見の経緯について次のように書いている：

> このとき、私はカンを離れて、鉱山学校の企てになる地質旅行に参加したのであった。旅行の忽忙にとりまぎれて、数学上の仕事のことは忘れていた。クータンスに

着いたとき、どこかへ散歩に出かけるために乗合馬車に乗った。ステップに足をかけた途端、フックス関数を定義するときに用いた変換が非ユークリッド幾何学の変換と同等であるという考えが浮んだ。馬車に腰掛けて、やりかけていた会話を続けたので、検証はしなかったが、しかし私は即座に完全に確信を持っていた[12]。

ちなみに、岡は、肝心の喜びについてポアンカレは語っていないという。岡によれば、発見の喜びの最も徹底した形で現れているのはアルキメデス(Archimedes、287？-212B.C.)である。彼が「わかった」と叫んで裸で風呂を飛び出し、走って帰ったのは、発見が本当かどうかを調べるためではない。発見の正しさに疑いなどを持つ余地は全然なく、ただうれしさのあまり小躍りしていたのである、と。

このように、全く思いがけないときに突然やって来る発見は偶然の出来事のように見えるけれども、実はそうではなく、隠れた秩序の噴出である。それは一人の人間の中でのことであるから比較的理解し易いが、婦人とスカラベのような出来事も、それと同様に、隠れた秩序の現れだというのがユングの主張であった。しかし、そのようなことがどうして可能なのか。それについて、ヴェーダーンタ哲学に一つの解答を見出したのがシュレーディンガーである。

### §4. 目的

第１章からここまで、自然的偶然、数学的偶然、意味的偶然を見て来たのであるが、偶然にはこの他、目的に関係したものがあろう。また、硬貨投げのような「偶然のゲーム」の場合、そこで云われる偶然とは何なのかという問題も残されている。本節では目的に絡んだ偶然について、次節では偶然のゲームについて述べる。

アリストテレスは、『自然学』第二巻第五章で、宴会の費用を取立中の男が、取立のためにではなしに或る場所に行き、そこで取立が彼に付帯した、という事例を偶然の例として挙げている。つまり、目的外のこと、意図していなかったことが生じたときに、偶然と云われる。

九鬼は、第１章で見た「因果的偶然」とは別に、「目的的偶然」を、目的以外の関係の存在することを目撃する場合の偶然として定義している。その例として挙げられているのが、「樹木を植えるために穴を掘っていると地中から宝が出て来た」[13]場合である。さて、しかし、出て来たのが犬の骨であったら、それを偶然と云うだろうか。同じ骨でも、マンモスの骨の場合はどうか。

我々の日常を振返って見よう。例えば、毎朝の通勤であるが、その途上、通勤という私の目的外のことが夥しい数で私の身に降りかかり、生起しているではないか。私は一々それらを偶然とは云わない。それらを偶然と呼んでいたのでは、この世界は偶然であふれかえってしまう。しかし、或る朝、通勤の途上、久しく会っていなかった友人に出くわしたしよう。それは偶然である。通勤という目的の外のことであり、しかも、私がそれを「偶然」と認めるから。ここでも偶然を偶然として認める主観の眼があって始めて偶然ということが云えるのである。第１章で、昆虫やバクテリアには偶然ということは存在しないだろうと述べておいた。ここで、目的という観点からも、彼等には偶然は存在しないと云える。彼等には目的という自覚もないだろうし、目的外として見る眼も持たないから。

しかし、九鬼のように「目的的偶然」を「因果的偶然」から区別する必要は、本当にあ

るのだろうか。上記の「穴から宝」の例にしたところで、「相互に独立な因果系列の交叉の目撃」であることに変りはないではないか。つまり、穴を掘るという因果系列と、誰かが宝を埋めそのままになっていたという因果系列との交叉の目撃である。だとすれば、それは因果的偶然である。通勤途上での友人との邂逅を偶然と呼ぶのも、私と友人という相互に独立な二本の因果系列が交叉し、そのことに驚いたからに他ならない。「目的」を持ち出さなければならない必要性、必然性はない。

### §5. 偶然のゲーム

硬貨投げのような「偶然のゲーム」における「偶然」は、今まで述べて来た偶然とは些か趣を異にするように思われるが、実はこれとても因果的偶然に他ならないことを、以下に論じよう。

問題は、偶然とは「相互に独立な因果系列の交叉の目撃」だとした場合に、硬貨投げのような偶然のゲームにおいて考えられているのは如何なる因果系列なのか、ということである。

十円硬貨が一個ポケットから滑り出て、裏を上にして地面に落ちた。あるいは、落葉が路上一面に散り敷いている。表を上にしているのもあれば、裏を上にしているのもある。これらに交叉はない。単独の、あるいは複数の因果系列が存在するだけのことである。

さて、硬貨投げで、硬貨の表が出れば学校に行き、裏が出れば海水浴へ行くと決めたとしよう。そして、実際に硬貨を投げて、裏が出たので海水浴へ行った。この場合、硬貨を投げて裏が出るという因果系列と、これから支度をして海水浴へ行くという因果系列とを交叉させたのである。(意図的に交叉させた以上、目撃は当然である。)

これをもう少し正確に云うと次のようになる：一つの硬貨を投げて表が出るという因果系列を$A_1$、裏が出るという因果系列を$A_2$とし、これから学校へ行くという因果系列を$B_1$、海水浴へ行くという因果系列を$B_2$とする。そして、$A_1$には$B_1$を、$A_2$には$B_2$を接続させると事前に決めておく。実際に硬貨を投げて、$A_1$が実現すれば$B_1$を実行し、$A_2$が実現すれば$B_2$を実行する。偶然のゲームとは、このように、複数の因果系列を人工的にクロスさせる装置であると定義出来る。

さて、九鬼であるが、彼は偶然のゲームを離接的偶然として扱っている。第1章で見たように、九鬼によれば「偶然性とは必然性の否定」であり、そして、それには、定言的偶然(概念と徴表との間に存する偶然)、仮説的偶然(一つの理由系列と他の理由系列との遭遇としての偶然)、離接的偶然(同等に可能な幾つかの離接肢における一つの可能としての偶然)の三様態があるのであった。「瓦とゴム風船」や「火山の噴出と日蝕」は仮説的偶然中の因果的偶然であり、「穴から宝」は同じく仮説的偶然中の目的的偶然であり、競馬や硬貨投げなどの偶然のゲームは離接的偶然であるとされる。

しかし、「穴から宝」がそうであったのと同じく、硬貨投げにしても、上記のように、「相互に独立な因果系列の交叉の目撃」として扱えるのである。

では、偶然のゲームでいう偶然とは因果的偶然に過ぎないのか。$A_1$、$A_2$は上記の通りとして、$B_1$を「百万円受取る」、$B_2$を「百万円支払う」としてみよう。$A_1$には$B_1$を、$A_2$には$B_2$を接続させると事前に決めておけば、硬貨の表が出るか裏が出るかに応じて、百万円を受取るか支払うかが決まる。つまり、因果系列をクロスさせることで、「原因」には含まれ

ていなかった異質なもの、大きなものを「結果」として出現させることが出来る。まさにそれが「偶然のゲーム」の本質に他ならない。小さな原因に大きな結果を「賭ける」のである。

## §6. 運命

### (1)数

露伴は『運命』を次のように始めている：

> 世おのづから数といふもの有りや。有りといへば有るが如く、無しと為せば無きにも似たり。洪水天に滔るも、禹の功これを治め、大旱地を焦せども、湯の徳これを済へば、数有るが如くにして、而も数無きが如し。

『運命』は、幼くして祖父の太祖の位を継いだ明朝第二代皇帝建文帝を叔父の燕王が攻め、燕王が第三代永楽帝となる前後のことを伝える歴史小説である。「数」には運命という意味があり、運命は定数であるとともに不定の数でもある。漢和辞典によれば、「数」の解字として、「一連の順序につないでかぞえること」、と。そして、「命数」とは運命であり、「数奇」とは異常な回り合わせである[14]。そうだとすれば、それはまさに「数列」の「意味」を問うことだと云えよう。

だが、しかし、意味とは何だろう。或る出来事に「意味がない」とは、そこに如何なる規則も見出せず、それを基に過去を理解することも未来を予測することも出来ないことだと考えられる。そうだとすれば、意味とは規則のことだと云ってもよいのではないか。規則性の全くない偶然の世界、そこには何の意味も見出せないだろう。

しかし、規則性があるかないかは、それほど簡単な話ではない。例えば、１と０とから成る数列

１０１１１１１０１１１０１１１１１０１１１０１０１１１１１０１１１０…

に何か規則性があるとは見えないけれども、実際には、これは次のような計算の結果得られたものである：$X_1=1$、$X_{n+1}=1-1.5X_n^2$　によって次々に得られる $X_n$ の値を、それが正のときには１で、負のときには０で置換える。

しかし、この結果だけを、即ち１と０の並びだけを見せられれば、我々に出来るのはせいぜい１と０の相対頻度を計算し、１と０とがほぼ３対１の割合で出現しているのを見出すこと位であろう。我々は一応世界に意味を見出すが、それは統計的、確率的なものである。本当は決定論が後ろに隠れているのだが、そのことは我々には見えていない。しかしラプラスの魔にとっては全ては明らかである。上記数列の35番目の「…」が１か０かを我々は確信をもって云うことは出来ないが、魔ならば即座に１と答える。魔にとっては百番目についても千番目についても同じことである。

さて、今度は、

０１０００１１０１１０００００１０１００１１１００１０１１１０１１１…

を考えよう。これならば少し眺めていると規則性が見えて来る。先ず、０｜１。次に、０、０｜０、１｜１、０｜１、１。次に、０、０、０｜０、０、１｜０、１、０｜０、１、１｜１、０、０｜１、０、１｜１、１、０｜１、１、１。……　つまり、０と１とから作られるあらゆる順列を辞書式に並べたものである。このようにこの数列に規則性があることは比較的容易に見つけられるが、このような規則性は単純で、機械的で、あまり意味がな

いように思われる。しかしこの数列にも、前章のΩと同様、『ハムレット』が潜んでいるのである。それはこの数列が正規である（極限において１と０の出現頻度が等しい）ことから結論されるが、この例では、頻度を持ち出さなくても、次のようにして分る。０と１の合わせてｎ文字の順列の全体をＰ（n）と書くことにしよう。Ｐ（1）は０と１とであり、Ｐ（2）は００、０１、１０、１１であり、Ｐ（3）は０００、００１、０１０、…、１１１であり、以下同様である。さて、前章で見たように、『ハムレット』に使われている総アルファベット数をＮとすると、『ハムレット』は5N文字の二進数で置換えられる。ということは、『ハムレット』はＰ（5N）のどこかに必ず見つかる筈である（Ｐ（5N）は5N文字の順列を全て網羅している）。つまり上記の数列には必ず『ハムレット』が含まれる。それも一回だけではない。『ハムレット』を表す5N文字の連なりをＨとしよう。Ｐ（5N＋1）の内の０Ｈ、１Ｈ、Ｈ０、Ｈ１は最初あるいは最後の余分な文字を除けばみな『ハムレット』である。Ｐ（5N＋2）の内の００Ｈ、１Ｈ０、Ｈ０１などもみな『ハムレット』を含む。かくて、上記の数列において『ハムレット』は無限回登場する。『ハムレット』だけではない。アルファベットで書かれた書物は、これから書かれる書物も含めて、どの一冊をとっても、上記の数列に必ず無限回出現する。こうした数列を、果して、単純で機械的で、意味がないと云えるだろうか。

次に、硬貨を投げて表が出れば１、裏が出れば０と書くことにして、何回も続けて硬貨を投げたところ、数列

０００１１０１１０１１１１１０００１０１０１０００１００１１１０１１…

が得られたとしよう。前節で「偶然のゲーム」として硬貨投げを取上げた。しかし、何回も続けて投げた結果として得られる上記のような数列はどのような性質を持つのかについては未だ考察していない。それは次章で行うことにして、ここでは、こうした数列は、如何なる決定論的な手続きをもってしても生成することが出来ないようなものだとしておこう。ラプラスの魔といえども、上記の35番目の「…」が０であるか１であるかは予言出来ないのである。つまり、実際に投げた結果として、始めて０であるか１であるかが分るのであり、事前にそれを、先行する項の値から導き出すことは不可能である。そして、また、このような数列を他人に伝えるにはそれをそのまま書き写すしかない。前章の言葉を使えば「圧縮不可能」なのである。かくて、これは猿が打ち出すタイプライターの文字列のように、全く意味のない世界である。それは、いわば「不条理な」世界であり、偶然に翻弄され続けて送る一生のようなものである。しかし、ここにも規則があり、秩序がある。次章で述べる「賭博方式排除の原理」がそれである。１（表）が出れば一万円受取り、０（裏）が出れば一万円支払うと取決めたとしよう。この場合、例えば、０が三回続いたら次は１に賭けようと決めたとしても、１の出る相対頻度は相変わらず１／２で、決して高まりはしない。これは厳然たる事実である。

以上三つの数列を見て来た。第一は、偶然のように見えるが実は隠れた秩序に支配されているものであった。第二は、単純な秩序に見えて、その実、驚くべき複雑さの潜んでいる例である。第三で見たのは、全くの不条理に見えても、動かし難い統計法則から逃れることは決して出来ないということであった。まことに「数」は「数奇」であり「運命」である。漢字を発明し数を運命と同一視した古代中国人は、このようなことまで見通していたのであろうか。

### (2)運命

今迄に千日回峰行を二回やり遂げたという天台宗大阿闍梨の酒井雄哉（81歳）に対するインタビューが最近の朝日新聞に連載されていた[15]。千日回峰行とは、比叡山の山上山下30キロを跋渉する七百日、その後、九日間の断食・断水・断眠・不臥の「堂入り」を経て、比叡山の山上山下に赤山への往復を加えた60キロの跋渉を百日、84キロの京都大回りを百日、再び山上山下30キロを百日、合わせて一千日を七年間で完了する苦行であり、挫折したら自害する決まりがあるという。堂入りでは四日目くらいから死斑が出て死臭が漂うようになる。死のすれすれ迄行くのである。そうした千日回峰行を酒井は二度やり遂げた。

> 子供の頃から落ちこぼれで、中学は入れてくれない、兵隊に行ったら友達が先に死んでっちゃう。図書館でアルバイトすれば挫折。ソバ屋もだめ。…四十歳近くなってフラフラしている僕を見かねて伯母さんが「お参りでもしてこい」って比叡山に連れて行ってくれたんだ。

そこが気持ちよかったので寺の手伝いなどをしているうち、すすめられて坊さんになってしまった。若い頃、家では勤めに行っていると思っているから、毎朝8時に三鷹の家を出て、玉川上水から甲州街道に出て、市谷の方から月島あたりまで行って、後楽園の方を回って青梅街道を戻って来ると、丁度夕方の5時になる。ただとっことっこ、とっことっこ。

> それから三十年もして、千日回峰行の京都大回りで一日84キロ歩いたんだけど、東京を歩いていたことを思い出してね。…俺はちっとも変わってないんだな。くるくるくるくる…。戦後、荻窪の駅前でラーメン屋をやってたことあるんだ。もしここに屋台あったらラーメン屋の親父だな。今でも材料あったらチャッチャッチャって作っちゃうよ。何にも変わっちゃいない。

そのときには単なる偶然としか見えなかった一連の出来事が、後になって振返ってみると、意味を持って整列している。「運命だった」とは、過去の出会い—偶然—に意味を認めたとき、思わず口を突いて出る言葉ではなかろうか。運命だった—それは、常に、過去形で云われる。運命とは、後からの意味づけであり、過去の偶然に「共時性」を認めることであり、従って、偶然が内面的に同化されることであり、過去の再構成である。そこでは偶然が必然化される。

ショーペンハウアー（Arthur Schopenhauer、1788-1860）は、「個人の運命に宿る意図らしきものについての超越的思弁」[16]において、「秘められた説明不可能な或る力」が我々の人生行路の紆余曲折の全てを導いているという。必然性と偶然性とが奥深い根底で一つに繋がっていて、そこから端倪すべからざる力が出て来るということを、ショーペンハウアーは二つの観点から説明する。

一つは、因果が「網」をなしているということである。「偶然的」とは、因果的に結びつきのない事柄が時間において出会うことを意味する。絶対的な意味で偶然的なものは皆無であって、最も偶然的な事柄ですら遠い道から近づいて来た必然的なものに他ならない。因果の連鎖は相互に無縁という訳ではなく、十重二十重に入組んでいる。時間の方向に前進する全ての因果の連鎖は、幾重にも縺れ合った大きな網をなし、この世の推移そのもの

を形成する。従って、現在同時的なるものは、既に遠い過去における原因によってそのようなものとして規定されていたのである。

二つ目は、「夢」との類推である。私は次のような夢を見ることがあろう。つまり、試験か何かで質問を受け､私は答えられず､他の者が肯綮に中る答を出して私を恥ずかしめる。では、他の者のその答はどこから来たのか。全ては私自身の夢の中のことであるから、その答は私自身から出た以外には出る筈がないのである。これと同じように、我々の人生というのは、かの一つの存在者〈意志〉が夢見る大いなる夢である。先の私の夢で、他の者が私とは独立に答えたように見えても、その答は私から出ていたように、かの一つの存在者の夢の中で我々は夫々独立に振舞っているかのように見えても、実はそうではない。全てを作っているのはかの存在者なのである。空間と時間の中においてのみ、我々は単独の存在であるように見えるのであって、空間と時間とは生命を互いに別々の有機体として、異る時処に出現させる個体化の原理である。それは「マーヤの面紗」である。

一方、ジンメル（Georg Simmel、1858-1918）は「運命の問題」[17]で、それ自体は単に因果的に生起するに過ぎない出来事も、主観とのかかわりにおいて一つの意味を、いわば一種の遅ればせの目的性を獲得するという。これらの出来事が運命となるのである。我々は或るものを運命と見做すことによって、出来事と我々の生の固有の意味との間に横たわる偶然性を廃棄する。何が運命となり、何が運命とならないかを決定するのは、内的な生の流れの方向性に他ならない。様々な出来事のうちで、この方向性の固有の振動に同調することの出来るものだけが我々にとって運命の役割を演じるのである。カントの云うように、世界は確かに何が我々の認識の内容となるべきかを規定しているが、しかしそれは認識作用が、何が我々にとって世界であり得るかを予め規定しているからこそである、一 それと同様に、運命も確かに個人の生を規定しているが、これまた後者が一種の親和力に基いて出来事の中から自分の「運命」となるような意味を与えることの出来るものを選択しているからこそである。だが、しかし、我々が運命と呼んでいるものの中には、我々の生の志向によって摂取されこそすれ、あますところなく同化されることのない何ものかが潜んでいるのも事実である。そこには偶然的なものの持つあの不気味さが残る。だから、結局、運命とは、同化してゆく関係の中に成立するものである。

ジンメルの云うように、偶然が内面化していく過程が運命だとすれば、それには矢張り時間がかかるであろう。樺太に出征後 63 年ぶりに、ウクライナから故国日本の土を踏んだという元日本兵のことが二年前の新聞に出ていた[18]。上野（うわの）石之助さんは、記者に、なぜ今まで帰国しなかったのかと問われて、「答えたくない、ただ運命だった」と。このとき上野さんは 83 歳になっていたのである。遥か昔のこととなった過去を振り返るとき、当時は偶然と思われていた幾多の出来事が夫々に意味を帯びて、整列して来るのであろう。

本章を終えるにあたり、「意味」について要約しておこう。先ず、因果関係に従って必然的に生起する出来事には何の意味もない。それはそうなるように最初から決まっていたのであるから、生起したからと云って、何の意味があろうか。起るべきことが起ったに過ぎない。一方、全く偶然に生起する出来事にも意味はあり得ない。猿がタイプライターを使って打出す文字列にどんな意味があるというのか。

然るに、我々は、日頃、「意味」という言葉を頻繁に口にする。必然性にも偶然性にも

意味がないというのに、これは一体どうしたことであろう。我々は何処に意味を見出しているのだろうか。意味の住処はどこか。

考えられるのは、必然性の反対が偶然性なのではないということである。必然性の補集合が偶然性なのではなく、必然性と偶然性との間には広大な中間領域が横たわっている。生物の進化も、日常的に見られる非線形現象も、全てはこの中間領域で生じているのである。非線形現象とはカオスを伴った秩序であり、秩序を伴ったカオスである。その住処はこの中間領域以外にあり得ない。しかし、これについては第5章以降見て行くことにしよう。ここでは「運命」との関係について一言触れておきたい。運命とは、必然性と偶然性とを斥けようとする気持が、一連の出来事を運命だと思わせているのではないか、ということである。

1. von Franz, M.-L. (1980) 邦訳3頁。
2. Peat, F. D. (1987) 邦訳29-31頁。
3. それぞれLeibniz, G. W. (1714)の7, 56, 61（邦訳438、451、453頁）。
4. von Franz, M.-L. (1980) 邦訳14-7頁。
5. Schrödinger, E. (1985) 邦訳79-80頁から適宜抜粋した。
6. 同66-8頁。
7. 同101-3頁。
8. *Bṛhadāraṇyaka Upaniṣad* 邦訳100頁（第四章第四節第一九句）。この句はSchrödinger, E. (1985) に引用されている（邦訳208頁）。
9. *Bhagavadgītā* 邦訳182頁。Schrödinger, E. (1985) による引用は邦訳204頁。
10. 広中平祐（1992）17頁。
11. 岡潔（1963）36-7頁。
12. Poincaré, H. (1908) 邦訳58頁。
13. 九鬼周造（1935）135頁。
14. 藤堂明保・加納喜光編『学研新緩和大字典』(2005、学習研究社) 755-6頁。
15. 2008年2月4日～8日付け朝日新聞（東京本社版）夕刊『人生の贈り物』
16. 有田潤訳『ショーペンハウアー全集10』(1996、白水社) 282-315頁。
17. 酒田健一・熊沢義宣・杉野正・居安正訳『ジンメル著作集12』(1994、白水社) 43-53頁。
18. 2006年4月22日付け朝日新聞（東京本社版）朝刊『天声人語』。

## 第4章　確率について

序で述べたように、ヒューム（David Hume、1711-76）によれば、「蓋然性（probability）」には「偶然（chances）」に基くものと、「原因（causes）」に基くものとがあるが、偶然とは、実は密かな隠れた原因に他ならない。従って、偶然に基く蓋然性と云っても、実のところは、原因に基く蓋然性なのである。小論は、このヒュームの説を受け、確率とは原因の分布のことなのだと考える。これは、例えば、骰子で原因が均等に分布しているということが、どの目にも1／6という同一の確率を与えているのだという考え方である。原因が偏って分布していれば、それに対応して夫々の目の出る確率も異る。

ところで、「分布」という以上は、「一」ではなく何らかの「多」が想定されている。既に見たように、九鬼は「偶然性」の根源を「多」に求める（離接的偶然）。小論は、確率とは原因の分布のことだと主張するが、それは「確率」の源泉を「多」に求めることに他ならない。「多」であることによって確率の概念が成立するのである。前章末で述べた「中間領域」、それがまさにこの「多」の住まう世界である。必然性と偶然性とを両極とする中間領域、そこが蓋然性の世界であり、確率とはその上の「測度」である。

以上が本章の目指すところであるが、先ずは、そもそも「確率」という概念はどのように生じたのかということから始めよう。

### §1. 確率の概念の起源

逆説めくが、骰子の起源は、この現実の世界においては、どんな出来事も偶然に決まるというようなことはあり得ないと考えたことにあるのではないか。即ち、骰子の六つの目のどれが出るかについては、夥しい数の原因が関係しているだろう。それら原因の一つ一つが、どの目が出るかに影響を与える。或る原因は1の目の出ることに寄与するだろうし、他の原因は別の目の出ることに貢献するだろう。そこで、骰子を対称に作れば、夫々の目の出現に寄与する原因の数を均等に出来る筈だ。対称に作るのだから、特定の目が出ることに原因が片寄ることはあり得ない。骰子を対称に作れば、原因も対称に分布し、結果も対称となる。そのような考えに基いて骰子が発明されたのだとすれば、骰子、つまりは確率の概念のベースにあるのは、何事も出鱈目に生じることはない、あらゆることは然るべき原因があってそうなるのだ、という見方であるということになる。

そもそも何か或る物事が「偶然に決まる」とはどういう事態を云うのであろうか。物事は決まるべくして決まるのであり、「偶然」に「決まる」とは言葉の矛盾ではなかろうか。物事は出鱈目に決まると考えていたのでは、確率という概念は生まれようがなかったろう。原因と結果との間に整然とした関係が存在すると想定してこそ、確率という概念は生まれ得るのである。しかし、原因と結果との間に、具体的にどのような関係があるのかは、知られていない場合が圧倒的に多いだろう。それでよいのである。骰子で特定の目の出る原因とは如何なるものであるか。それらを、定性的にせよ、漏れなく列挙することは不可能であろう。ましてや、それらを定量的にきちんと数値化することなど、到底人智の及ぶところではないに違いない。ところが、ここに奇蹟とでも呼ぶべきことがある。骰子を対称に作りさえすれば、原因は対称に分布するのである。これを疑うことは出来ないだろう。

そして、これこそが確率論が有用なことの理由である。ラプラスが『確率の哲学的試論』の冒頭で云っていたのもこのことである。人間と「魔」との間には知性において無限の隔たりがあるが、確率が活躍するのは、まさにこの隔たりにおいてである。確率論はこの隔たりを奇妙にも結構埋めてくれるのである。

以上を要するに、確率は、経験に先立って、人間の頭の中に存在していたのである。つまり、何か立方体状のものを何回も転がしているうちに、どの面もほぼ等しい頻度で出ることに気づいたというようなことが確率の概念の起源なのではない。対称な立方体を投げればどの面も同じ割合で出ることが予め分っていたからこそ、人は骰子を作って、偶然のゲームに利用したのである。勿論、これは、概念としての骰子—確率—の起源についての話である。物体としての骰子の起源についてならば別である。古代に占いや賭け事に使われた羊や鹿の指関節の骨が物体としての骰子の起源であったというのは、事実その通りであろう。

対称な立方体を投げればどの面も同じ頻度で出ることは実際に投げてみないでも分るということは、確率論の祖と云われるパスカル（Blaise Pascal、1623-62）やフェルマー（Pierre de Fermat、1601-65）と同時代のド・メレの逸話が物語っている[1]。passe - dix（十超）というゲームは、同時に投げられた三つの骰子の目の合計で勝負が決まる。三つの骰子の目の合計は3から18迄であり、このうち3から10迄は八つ、11から18迄までも八つであり、両者は完全な対称をなす。そこで、一人は目の合計が10以下に賭け、他の一人は11以上に賭ける。さて、11以上に賭けた場合、丁度11になるのは６４１、６３２、５５１、５４２、５３３、４４３の場合であり、丁度12になるのは６５１、６４２、６３３、５５２、５４３、４４４の場合である。両者はどちらも六つの場合から成る。ところが、ド・メレは、11以上に賭けた人は、丁度11で勝つ場合の方が丁度12で勝つ場合よりも多いことに気づいた。そこで、不審を抱いたド・メレは、パスカルに疑問をぶつけた。これに対するパスカルの答は簡単である。例えば６４１は六重にカウントされるべきである。何故なら、6は三つの骰子の何れによって実現されてもよく、4は残り二つの骰子の何れによって実現されてもよいから。然るに５５１は三重に、４４４は一重にしかカウントされるべきでない。そうすると、三つの目の合計が11になるのは6+6+3+6+3+3=27通りであり、12になるのは6+6+3+3+6+1=25通りで、確かに前者の方が多い。

この逸話は何を意味するか。ド・メレは、一個の骰子についてどの目も同じ割合で出る筈であり、三個の骰子の目の合計が11あるいは12になるのは、どちらも6通りの出方によってであるから、11も12も同じ割合で起るだろうと考えていたのに、そうはならなかったので、不審を抱いたのである。彼は、六重や三重にカウントすべき場合があることに気がついていなかっただけであり、確率とは原因の分布状況を反映したものに他ならないということをよく承知していたからこそ、驚いたのであった。

以上は、経験に先立って確率の概念は存在するという立場であり、そのベースにあるのは、あらゆることは原因があって生じるという考えである。これに対して、確率を「頻度」の極限値として定義する経験的な立場では、なぜ骰子の六つの目の頻度が安定するのかを

説明出来ない。試行を繰返せば頻度が一定の極限値に収束するという「大数の法則」を天下り的に認めることにおいて、確率の頻度説は成立つ。原因の分布が確率だとする先の見方に対して、頻度説では頻度の極限値が確率なのである。頻度説を唱えたフォン・ミーゼス（Richard von Mises、1883-1953）によれば、確率は「コレクティヴ」と関係づけられて始めて意味を持つ。コレクティヴについては第５節でその正確な定義を述べるが、取りあえずは集合のことだとしておこう。或る個人についてその生活習慣や健康状態を如何に詳細に知っていたとしても、その人の死亡の確率については何も云えないのである。個人については死亡の「確率」は何の意味も持っていない[2]。単独事象について確率を云々するのは端的にナンセンスなのである。では、そうした個人を千人集めれば、何故安定した数の死者が発生するのか。頻度の極限値を確率とする限り、こうした不思議な規則性について、何も説明出来ない。

では、確率とは原因の分布のことだとすれば、なぜ大数の法則を説明出来るのか。これをラプラスに沿って見てみよう。

ラプラスは、『確率の哲学的試論』において、先ず、確率を次のように定義している。

> 偶然に関する理論は、同じ種類に属する全ての事象を、先ず一定数の<u>同等に可能な</u>場合、即ちそれらが存在するかどうかについて<u>我々が決めかねる程度が同じ</u>である場合に帰着させ、次にその確率を求めている当の事象に好都合な場合が幾つあるか、その数を決定することから成る[3]。

「同等に可能な」場合というのが「原因が均等に分布している」ということである。では、「同等に可能でない」場合、即ち「原因の分布が均等でない」場合にはどうなのかという問題が生じるが、これについては次節で述べることにして、先に進もう。

事象が沢山集ることによって生み出される規則性について、ラプラスは、先ず、次のように云う。

> 我々が偶然という名のもとで理解する不安定な未知の原因―これは事象の進行を不確実で不規則にしている―のただ中で、これらの事象の数が増えて行くに従って驚くべき規則性が生まれることがある。<u>この規則性は或る計画に起因するように見え</u>、人々はそれをこの世界を支配している摂理の一つの証だと考えて来た[4]。

このように従来「摂理の証」と思われて来た驚くべき規則性も、ラプラスによれば、

> このような規則性は<u>単純な諸々の事象が夫々持っている可能性が展開したもの</u>に過ぎない[5]。

ラプラスの云っていることは、単独の事象がそれ自身で持っている可能性が、事象が沢山集ることによって、我々の目に見える形となって発現する、ということである。では、何故そのようなことが可能なのか。これについて、ラプラスは、壷から白玉、黒玉を取り出す（取り出した玉は色を確認後、元の壷に戻して、よく掻き混ぜる）場合を例に、次のように説明している。

> 取り出された白玉と黒玉の数の比は、最初のうちは大抵極めて不規則である。しかし、この不規則性を生み出す不安定な原因は、事象の規則的な進行にとって好都合な結果と不都合な結果とを代わる代わる生み出す。そして、これらの結果は、多数の試行の集りのうちでは互いに打ち消し合って、壷中の白玉と黒玉の数の比を、即

ち各々の試行で白玉が取り出される可能性および黒玉が取り出される可能性を、だんだんとよく見積もれるようにする。これより、次の定理が出て来る。

> 取り出された白玉の数と取り出された玉の総数との比が、各々の試行で白玉が取り出される確率と異る差を考えよう。この差が或る与えられた区間内に入る確率は、この区間を如何に小さく想定しようとも、事象を無限に繰返せば、限りなく確実性に近づく[6]。

この最後の定理が「大数の法則」に他ならない。壷中に白玉が a 個、黒玉が b 個入っているとし、$p=a/(a+b)$ としよう。n 回の試行で k 回が白玉であったとすると、$\varepsilon>0$ を如何に小さくとっても、$|(k/n)-p|<\varepsilon$ となる確率は、n が大きくなるに従って、次第に 1 に近づく、というのが上記でラプラスの云っていることである。

ラプラスは『確率の哲学的試論』において、大数の法則を、数式を具体的に展開することによって証明している訳ではない。実は、この法則を数学的に最初に証明したのは、ラプラスよりほぼ一世紀前の数学者ヤコブ・ベルヌイ（Jakob Bernoulli、1654 - 1705）である。その証明は、当時としては大変困難なもので、ベルヌイはそれに 20 年を要したという。それでベルヌイは自分の与えた証明に大きな重要性を認めたということを、ラプラスは『確率の哲学的試論』で紹介している[7]。

さて、個々の試行における白玉抽出の可能性は $p=a/(a+b)$ である。n 回の試行の結果、k 回が白玉であったとすると、頻度 $k/n$ が p に向って収束して行くという規則性は、個々の試行が持っていた可能性 $p=a/(a+b)$ がそのように展開したのだ、というのがラプラスの主張である。$p=a/(a+b)$ は、同等に可能な場合の数に対する好都合な場合の数の比であり、一方、$k/n$ は、実際に観察された頻度である。本来この両者の間には何の関係もない筈である。前者は空間的な配置であり、後者は時間的な系列である。それが何故結びつくのか。それはいかにも不思議なので従来は「摂理の証」と考えられていたが、それをベルヌイが証明したのだ、とラプラスは云うのである。大数の法則は、同等に可能な場合の数に対する好都合な場合の数の比としての「確率」と、実際に観測される「頻度」との間を架橋する。

現在では、これは簡単に証明される。即ち、各回の試行は独立であるから、n 回の試行で k 回白玉の出る確率 $p(k, n)$ は

$$p(k, n) = {}_nC_k\, p^k (1-p)^{n-k}$$

である。（n 回中或る特定の箇所で k 回白玉が出る確率は $p^k(1-p)^{n-k}$ である。k 回の白玉は n 回中どこで出てもよく、それには ${}_nC_k$ 通りあるから、n 回中どこかで k 回白玉が出る確率は ${}_nC_k\, p^k(1-p)^{n-k}$ である。ここに、${}_nC_k$ は、n 個の異るものの中から重複を許さずに k 個を選ぶ場合の数である。） 上記の等式から出発して、後は純粋に数学としてのステップを踏んで行けば、所要の結論が出て来る。つまり、$|(k/n)-p|<\varepsilon$ となるような k は、$k_1$、$k_2$、・・、$k_m$ であったとして、

$$P_n(\varepsilon) = p(k_1, n) + p(k_2, n) + \cdots + p(k_m, n)$$

なる和を作ると、$\varepsilon$ を一定にしたまま、n を大きくするとき、$P_n(\varepsilon)$ は 1 に近づくことが解析的に示せる：$\lim P_n(\varepsilon) = 1$.

証明は以上の通りであるが、これは何を「証明」したことになるのかを考えて見よう。統計的、経験的な事実を数学的に証明出来るわけがないのは勿論である。上でやったこと

は、ただ、数学的なことを数学的に証明したに過ぎない。ただし、その証明を通じて、統計的な事実（頻度が一定値に収束する）について、どうしてそういうことが起るのかを「説明」している。つまり、上記の証明のステップが全体として明らかにしているのは、比率 $k/n$ が確率 $p=a/(a+b)$ とどのように関係するのか、そのメカニズムである。

ラプラスは、「魔」で知られるように、啓蒙時代の決定論者である。彼にとって、何かが偶然に生じるというようなことはあり得ない。もしそのように見えるとすれば、それは人間が無知だからである。そして、確率とは夫々の事象が持っている可能性である。大数の法則とは、事象が沢山集ることによって、その可能性が展開したものに他ならない。

以上、物事は偶然には生じないが故に確率という概念が存在し得る、という一見逆説的な考えを述べたが、確率の持つもう一つの逆説性として、次のようなことがある。即ち、硬貨を投げて表の出る確率が 1／2 かどうかを検証したいとしよう。一万回投げて、表が 5003 回出たとしても、表の出る確率は 1／2 であると確言出来る訳ではない。逆に、一万回中、表が 6014 回出たとすれば、表の確率は 1／2 ではないと確言出来る。前者の場合、確率が 1／2 でなくても、それに近い場合には、一万回中表が 5003 回というように展開し得るからである。後者は先の大数の法則からの帰結である。確率が 1／2 だとすれば、5000 回から 1000 回以上も外れることは極めて起り難いことだからである。

### §2.「同等に可能」

ラプラスは、確率を、「同等に可能な場合の数に対する好都合な場合の数の比」として定義したが、全然問題がない訳ではない。即ち、（ｉ）確率を考え得る如何なるケースでも、最終的には、「同等に可能な場合」に辿り着ける筈だということが前提されていること、また、（ii）「同等に可能な」場合とは「決めかねる程度が同じ」場合だと云い換えられているが、少くとも後者には多義性があること、である。

（ｉ）については、「同等に可能」な基本事象が現実に存在しない場合があることを、壷の例で示して見よう。三つの壷Ａ、Ｂ、Ｃがあり、壷Ａには白玉２個と黒玉１個が、壷Ｂには白玉１個と黒玉２個が、壷Ｃには白玉１個と黒玉１個が、それぞれ入っているとする。そこで、次のようなゲームを行う：

ゲームⅠ．硬貨を投げ、表ならば壷Ａから、裏ならば壷Ｂから、玉を１個抽出する。

ゲームⅡ．硬貨を投げ、表ならば壷Ａから、裏ならば壷Ｃから、玉を１個抽出する。

硬貨は表裏対称であり、玉の抽出はいずれも無作為に行うものとすれば、それぞれのゲームで白玉を引出す確率は次のように計算出来る。即ち、ゲームⅠについては

$$(1/2)(2/3)+(1/2)(1/3)=(2+1)/6 = 3/6 =1/2 \qquad (1)$$

であり、ゲームⅡについては

$$(1/2)(2/3)+(1/2)(1/2)=(4+3)/12 = 7/12 \qquad (2)$$

である。ゲームⅠでの白玉の確率 3／6 は、同等に可能な場合の数 6 に対する、好都合な場合の数 3 の比である。つまり、6 や 3 は現実に存在する「場合の数」である：

Ａ：○○●、　Ｂ：○●●　……　全体で６個中、３個が白。　(3)

一方、ゲームⅡでの白玉の確率 7／12 では、12 が同等に可能な場合の数である訳ではなく、7 が好都合な場合の数である訳ではない：

A：○○●、　C：○●　(4)

このゲームⅡでは、全部で5個ある玉のうち3個が白玉であるが、白玉を抽出する確率は3／5ではない。7／12という答を決めているのは計算である。7／12というのも「確率」であるが、それは「同等に可能な場合の数に対する好都合な場合の数」とはなっていない。

これは「同等に可能」という事態が現実には存在しないことを示している。ゲームⅡで、Aからの抽出かCからの抽出かは五分五分なので、A中の玉の総数とC中の玉の総数とを揃えることが考えられる。そこで、Aでは白玉、黒玉の数を一斉に2倍し、Cでは一斉に3倍すれば、A、Cとも玉の総数はそれぞれ6個となり、先に得た7／12という確率は、同等に可能な場合の数に対する、好都合な場合の数の比となる：

A：○○○○●●、　C：○○○●●●　……　全体で12個中、7個が白。　(5)

これは、「同等に可能」という概念が、ゲームⅡの場合には、(5)に示したような形で頭の中にだけ存在することを示している。確率の計算式(2)はそのことの反映である。

以上はどちらの壷から抽出するかが五分五分の場合であったが、例えば、骰子を投げて、1から4迄の目が出ればAの壷から、5または6の目が出ればBの壷から、というような場合には、Aの玉の総数とBの玉の総数との割合が2対1になるように倍数を設定すれば、「同等に可能」な場合が実現出来る。また、選択肢の壷が二個でなく、三個以上の場合にも同じような考えが適用出来る。

これらは、同等に可能な場合が実在しなくても、頭の中では想定可能なケースであったが、例えば偏った硬貨を投げるようなケースでは、どうすれば同等に可能な基本事象に辿り着けるのかは全く不明である。ラプラスの定義からすれば、そもそも、偏った硬貨に確率を考えるということ自体がおかしいのかも知れない。しかし、ラプラスは『確率の哲学的試論』で、偏った硬貨についても確率を論じており[8]、それによれば、一回だけ投げる場合には、どちらの面に偏っているかを知らない限り、偏った硬貨でも、表、裏の確率はどちらも1／2であると云う。「決めかねる程度が同じ」だからである。しかし、偏っているとは、確率が1／2ではない、ということであろうから、これはパラドクスである。実は、こうした問題があるので、小論では確率とは原因の分布のことだとしたのである。同等に可能な場合とは原因が均等に分布している場合であり、偏った場合とは原因の分布が不均等な場合である。

次に、(ⅱ)については、決めかねる程度が同じ場合に等しい確率を与える原理として、J.ベルヌイが「不充足理由律（ principle of non-sufficient reason)」と呼び、ケインズ（John Maynard Keynes、1883-1946）が「無差別の原理（ principle of indifference)」と呼んだものである[9]。これについては確率の論理説のところで詳しく検討することにし、ここでは、これが引起すパラドクスを、ケインズが挙げる例の中から、三つだけ示しておこう：

〔第1：本のパラドクス〕図書館の或る場所に置いてある本を考えよう。我々はその図書館を訪ねたことがないとする。それで表紙が何色かは分らないが、「赤である」あるいは「赤でない」とする理由に大小はないから、無差別の原理を適用して、P(赤)＝1／2である。しかし、同様に考えて、P（青)、P（緑)、P（黄）も全て1／2となり、互いに排反な事象の確率の合計は1を越えてしまう。

〔第2：ワインと水のパラドクス〕ここにワインと水の混合物があり、1/3≦ワイン／水

≦3 であることだけが分っているとする。ワイン／水の値は、1／3 と 3 との間において決めかねる程度が同じであるから、無差別の原理を適用して、同区間中、均一に分布していると仮定出来る。そうすると、ワイン／水の値が 2 以下である確率 P (ワイン／水≦2) は、

P（ワイン／水≦2）＝（2−1／3）／（3−1／3）＝5／8.

一方、1／3≦ワイン／水≦3であれば、1／3≦水／ワイン≦3であるが、これもそれだけしか分らないので、無差別の原理を適用して、先程と同様に、水／ワインの値が1／2以上である確率P（水／ワイン≧1／2）は、

P（水／ワイン≧1／2）＝（3−1／2）／（3−1／3）＝15／16.

しかし、ワイン／水≦2ということは、水／ワイン≧1／2ということである。

〔第３：幾何学的確率のパラドクス〕これはベルトラン（Joseph Bertrand、1822-1900）が思いついたもので、円とその弦を考える。弦がその円に内接する正三角形の一辺よりも短い確率は、無差別の原理を３通りに使って３つの答が得られる。1／2、2／3、3／4 がそれである。

なお、第２、第３のパラドクスは次のように一般化出来る：区間〔a、b〕で定義された連続函数をfとする。θが〔a、b〕上にあり、そのうちの特定の一点であるとする如何なる理由もないとすれば、無差別の原理により、θは〔a、b〕上で一様な確率分布を持つ。この場合、一般に、f（θ）は〔f（a)、f（b)〕上で一様ではない。しかし、一方で、f（θ）も〔f（a)、f（b)〕上で特定の一点であるとする如何なる理由も持たないと考えれば、無差別の原理によって、f（θ）は〔f（a)、f（b)〕上で一様な確率分布を持つことになる。

## §3. 可能性

ラプラスによれば、事象が沢山集ることで現れて来る規則性は、「単純な諸々の事象が夫々持っている可能性が展開したもの」であった。では、個々の単純事象が持っているとされるこの「可能性」とは如何なるものであろうか。本節と次節とでそれを探って行こう。

現代確率論の発展に大きく貢献したフランスの数学者レヴィ（Paul Lévy、1886-1971）は、硬貨投げの系列を例に、次のように云う[10]：

> 経験主義者は、一回限りの試行に関しては確率の概念を否定する。経験主義者にとって、確率は試行の長い系列を扱うときだけに意味のある概念なのだ。しかし試行は独立で、全て同じ条件で実現される。「今まで裏が出すぎた。これからは表の味方をしよう」と云って仲介する悪魔はいない。故に、夫々の試行は、それが繰返されて行くと、表と裏の頻度が次第に等しくなって行く事実を引起す《何者か》を含んでいるのである。これこそ、私が一回限りの試行に対しても確率を云々することが出来ると云い、また表と裏が同様に確からしいと云って表現している当のものなのである。私が前以って一度も試して見たことがなくても、硬貨の対称性は、このことを予見させてくれる。

この《何者か》こそがラプラスの云う「単純な事象が夫々持っている可能性」に他ならない。ラプラスもレヴィも偶然が客観的に存在することを認めない。18 世紀後半から 19 世紀初頭にかけて活躍した啓蒙思想家ラプラスにとって、偶然や確率は、人間の無知を反映するものに過ぎず、客観的に存在するものではなかった。一方、量子力学の興隆を目撃した 20 世紀のレヴィは、かえって、何かが「偶然に決まる」とはどういう事態なのかを理

解出来ないのである。彼によれば、一つの原因あるいはむしろ幾つかの原因によって決定されない事象を考えることは不可能である。「偶然に決まる」などと云う人は、自分が何のことを云っているのかはっきり分っていないのだ[11]。アインシュタインは、量子力学についてのボーアらとの論争で、神は骰子を振らないと主張したが、レヴィは、自分の考えもアインシュタインと同じだと明言している[12]。

ところで、レヴィが数学者として、確率の理論を展開し、多くの精緻な結果を得たのは、数学の一分野である「測度論」をベースとする、コルモゴロフ (Andreĭ Nikolaevich Kolmogorov、1903-) により定式化された公理的な方法 (1933年) によってである。それは、現代の幾何学が「点」や「直線」を無定義語として導入し、「2点は1直線を決定する」などの公理によって点や直線を特徴づけるのと全く同じやり方をとる。即ち、測度論的確率論では「確率」とは何かはもはや問われない。それは、幾何学で「点」とは何か、「直線」とは何かが問われないのと同じである。次の公理を満たしていさえすれば、それが「確率」なのである：

（ア）$0 \leqq P(A) \leqq 1$、特に、$P(\Omega) = 1$

（イ）$P(\Sigma A_n) = \Sigma P(A_n)$　　（可算加法性）

数学ではこれ以上のことは何も云わない。確率をどう解釈するかは、数学の問題ではない。そうであればこそ、測度論的確率論は多大の成果を生み、色々な分野に応用されているのである。（なお、Ωは全空間を表す。第2章で述べたチャイティンの「停止確率」Ωとは関係ない。）

これらの公理のうち（ア）は形式的なものに過ぎないから、実質的に確率を規定しているのは（イ）だけである。即ち、排反な事象の確率は「足し合わすことが出来る」という「加法性」こそが測度としての確率を特徴づけている。

### §4. 傾向説

さて、「可能性」とは何であるかの続きであるが、パース (Charles Sanders Peirce、1839－1914) は、骰子を振ったときに或る確率で特定の目が出るということは、その骰子が或る《would-be》を持っているということであり、それは、人間が何かの「習慣 (habit)」を持っているのと同じである、と論じている。或る人がどういう習慣を持っているかを示すためには、その習慣によってその人がどういう場合にどう行動するかを描写しなければならないのと同様に、骰子の《would-be》を定義するためには、それによって骰子がどう振舞うかを述べる必要がある。そして、その人の行動そのものが習慣という訳では全くないのと同様に、骰子の振舞そのものが《would-be》であるということでは全然ない。骰子の振舞は、それを振ったときに出る目の系列として表される。この系列が《would-be》なのではなく、そういう系列を生じさせているもの、それが《would-be》なのである[13]。

このようにパースは、出た目の系列とそれを生じさせている《would-be》とを完全に分けた。この《would-be》が、ラプラスの「可能性」やレヴィの《何者か》に連なるものであることは明らかである。

パースは《would-be》が骰子に内在すると考えたが、それに疑問を呈したのがポパーである。例えば、鉛を仕込んだ骰子を地球の表面で振る場合と、月の表面で振る場合とでは、

重力の影響の大きさが異ることから、出る目の系列はかなり異ったものとなろう。だから、そうした系列を生じさせている《would-be》は、骰子に内在するのではなく、或る状況全体（骰子もその一部）に内在すると考えなければならない。こうして生まれたのが「傾向性（propensity）」の考えである。

レヴィと違い偶然の存在を積極的に認めるポパーは、単独事象に対して客観的な確率を与える必要から傾向説を唱えるに至った。頻度説を唱えるフォン・ミーゼスは、単独事象について確率を云々するのはナンセンスであると主張した。これに対して、ポパーは、単独事象の確率こそが根元的であり、それは他の如何なる言明によっても置き換えられ得ないと主張する。ポパーは、物理学者ランデ（Alfred Landé、1888-1975）の思考実験（「ランデの刃」）を受け、次のように論じる[14]。

チューブを通って象牙の球が鋼鉄の刃の真ん中に落とされ、右へ落ちる球と左へ落ちる球の比が平均して五〇対五〇と観測されたとしよう。落とされた球の数が一千個だったとして、決定論者は、五〇対五〇の結果の比とランダムな変動との両方を説明するには、一千個の単独の出来事のあらゆる初期条件は、それに対応したような形で分布していた筈だと仮定するしかない。これら一千個の初期条件群は、何故、五〇対五〇の比とランダムな変動とを示すのかを説明しようとすれば、それを決めているもう一段階前の一千個の初期条件群を持ち出さざるを得ず、かくて無限後退に陥る。また、今後生じる一千個の出来事は、これ迄の一千個と極めてよく似た統計的結果を齎すと推測せざるを得ないだろうが、決定論者は、それらの統計結果もそれらに対応した初期条件の分布による、と説明しなければならないだろう。だが、何故、その比は、こうも奇妙な迄に安定するのか、それについて決定論者は何も答えられない。

こうした実験の長い反復系列において実際に実現されるような統計的頻度の原因と見做されているのが、ポパーの云う傾向性である。それは実験を取巻く状況全体に内属する。そして、それは他の如何なるものにも還元され得ない。

ところで、単独事象に確率を与えるという点では、傾向説に特に目新しいところがある訳ではない。それはラプラス以来、「可能性」として云われて来たものである。問題は、単独事象に対して、どのように客観的な確率を付与するか、である。ポパーは次のように論じる[15]。

先ず、「同等に可能」ということをベースにするラプラスの確率の定義では、偏った硬貨は本来、確率の対象となり得ない筈である。硬貨投げや骰子投げのような偶然のゲームだけではない。物理学や生物学さらには社会学、経済学などで確率を扱うためには、同等でない可能性—「加重された可能性」—に基いた確率概念が是非とも必要だろう。結局、問題は、加重された可能性を測る方法—同等でない可能性に数値を付与する方法—が存在するだろうか、ということになる。ポパーは、統計的方法を使えば、それは可能だという。ポパーは、頻度に基く確率では単独事象を扱えないとして確率の頻度説を斥けたが、それは「確率とは何であるか」を問題にする限りでのことであり、数値を付与する方法としてまで統計的な方法を否定した訳ではない。一方で確率の客観性を主張するポパーにとって、数値を決定するのに統計的方法を使うのは当然だとも云える。そもそも統計的方法によらずして、客観性が保証されるような方法が存在するだろうか。

ポパーの考えを、硬貨投げを例に、整理して見よう。

（1）正しい硬貨であれ、偏った硬貨であれ、表が出るのを現実化する傾向性は、この硬貨を投げることの構造に内在している。一回の投げることに内在する表の傾向性は、多数回投げた際の表の相対的頻度によってその大きさを評価出来る。
（2）とは云え、多数回投げたときの表の頻度が安定していなければ、このことは無意味である。しかし、物理的状況が変らなければ磁石の針がいつも一定の方向を指すように、もし諸条件が安定しているならば統計的平均も安定するという傾向は、我々の宇宙の最も注目すべき特徴の一つである。
（3）傾向性は単なる可能性ではなく、物理的現実であると仮定される。傾向性は、「力」の観念の一般化である。力が現実のものであり、存在するように、傾向性も現実のものであり、存在する。力は傾向性の一種である。
（4）傾向性は、硬貨や骰子など物体に内在する属性ではなく、或る状況（当該の物体はその一部）に内在する属性と見做されるべきである。傾向性は、各試行について同じであると仮定されている実験環境全体によって決まる。

最後の（4）はパースとの関係で、既に見たところである。力が、物体の属性ではなく、二つ以上の物体の関係に関わる属性であり、関係的な概念であるように、傾向性もまた、客観的な状況全体の関係的な属性である。

このようなポパーの傾向説は、数学としての確率論とどのような関係にあるのであろうか。既に見たように、測度論的確率論は「確率」とは何かを問題にせず、若干の公理を満たしていさえすれば、それが確率だとして、公理的に理論体系を構築する。実質的な公理としては可算加法性だけである。加法性とは、面積や体積の基本をなすもので、重ならない場合には足し合わすことが出来るということである。確率とは全空間に対し１という値をとるような測度に他ならない。ポパーは、「加重された可能性」つまりは「傾向性」とは、この測度のことだと主張している。

測度論的確率論を構築したコルモゴロフは、その著書『確率論の基礎概念』において、自分の公理的確率が経験的事実に如何に関係づけられるかについて、一節を設けて論じている[16]。コルモゴロフは、確率は、繰返し可能な状態の集合Ｓに関係づけられることによって、経験との繋がりを持つことが出来るとする。これは、傾向性とは客観的状況全体の関係的な属性であり、頻度によって測られるとするポパーの考え方と基本的に同じである。ポパー自身、コルモゴロフの理論を「新古典理論」と呼び、それは傾向性解釈で解釈する以外に可能な解釈は全く思いつけないと述べている[17]。

さて、ポパーは、自分の提案しているのがニュートン流の力の仮説に似た新しい物理的仮説であると強調している。その仮説とは、どの実験配置も（それゆえ系のどの状態も）傾向性を生成し、それはときに頻度でテスト出来るという仮説である[18]。

もう少し具体的に見てみよう。第１章で量子論における「２スリット実験」について述べておいた。それは、スリットが二つの場合に後方のスクリーン上に現れる電子の分布は、スリットが一つだけの場合に現れる分布からはまるで予想出来ないものになってしまうというものであった。つまり、スリットが二つの場合には干渉縞が現れるのである。しかし、電子はスクリーンに向けて一回に一個ずつしか発射されていないので、この干渉縞は、電子同士の干渉によるものではない。ポパーは、これこそが確率の傾向性解釈によってしか

説明出来ない現象だとして、次のように云う：一つ一つの電子はどちらか一方のスリットを通れるだけである。もう一方のスリットが開いている（あるいは閉じている）ということに影響されることなど、どうしてあり得るか。傾向性解釈の観点に立てば、答は簡単である。傾向性を決めているのは実験配置の全体だというのが答である。どの一つの実験をとって見ても、スリットが両方開いている場合と、一方だけ開いている場合とでは、起り得る可能性は明確に違っている。傾向性は可能性に依存する。だから、二つの場合で結果が異るという事実は十分に納得が行く、と[19]。

こうした考え方に誰もが納得している訳ではない。ポパーの見方によれば、スリットを一つから二つにすることで干渉縞が生じたのは実験配置の全体が変化したからであり、スリットが二つの場合にも電子は必ずどちらか一方だけを通ったのだということには変わりがないということになる。こうした見方に対して、ファイヤアーベント（P.K.Feyerabend）は次のように批判する[20]：ポパーは実験条件がそのような傾向性を付与したのだというだけで思考を停止してしまっている。「はっきりと決まった経路」という考えは量子論と矛盾を来たすのであり、これをどう理解したらよいか、ということが問題なのである。それは、粒子が波動性を持つとして始めて納得出来ることである、と。

筆者自身にもポパーの考えの中には納得出来ないところがある。それは量子論における「波の収縮」についてである。ポパーによれば、波の収縮は量子論に特有のことではなく、確率論一般の帰結である。硬貨投げで表裏の確率は夫々1／2である。投げた結果を見ない限りは、未だ、確率は1／2だろうと云うにとどまる。下を向いて硬貨を見れば、そのとき、確率は突然「変化」する。一方の確率は1に、他方のそれは0になる[21]、と。

しかし、波の収縮で問題にされたのは、「シュレーディンガーの猫」に示されているように、首尾一貫した考えを通そうとする限り、観測することによって「生と死とが混ざり合った状態」から「生か死かのどちらか一方の状態」へ移行したと考えざるを得ないという点にある。硬貨投げの場合には、結果を確認する迄は、表であるか、裏であるかが我々には分らないだけのことであり、実際には表か裏かのどちらか一方に決まっている。観測によって、表と裏とが混ざり合った状態から、表か裏かのどちらかの状態へ移行するという訳では全くない。結局、ポパーは「状態の収縮」を「確率の収縮」と取り違えているのではないか。

次に、ポパーに対する哲学的観点からの批判としては、次のようなものがある。ポパーによれば、傾向性とは力の観念の一般化であるが、それは、また、因果の概念の一般化である。事実、ポパーは、「因果性は、傾向性が1に等しいという、傾向性の特殊な場合に過ぎない」[22]と語っている。しかし、因果は時間的に非対称（原因が先で結果が後）なのに、確率はそうではない。実際、事象Aの下での事象Bの確率が定義されるならば、Bの下でのAの確率も定義される。傾向説に対する批判はここを突くもので、傾向性が因果の概念の一般化であるとすれば、それは「確率」ではあり得ないとする。これをハンフリーズ（Paul W.Humphreys）のパラドクスによって見てみよう[23]：

フリスビー（プラスチック製の円板）を作る二つの機械Ⅰ、Ⅱがある。1日当り、Ⅰは800個生産し、不良品は1％、Ⅱは古い機械なので200個生産し、不良品は2％である。1日の終りに、二つの機械で作られた1000個のフリスビーからランダムに1個取出す。それが不良品であることをDとし、それがⅠまたはⅡによって作られたことをそれぞれM、N

とする。通常の確率計算によれば、

$$P(D|M) = 0.01、$$

$$P(M|D) = P(D|M)P(M) / (P(D|M)P(M) + P(D|N)P(N))$$
$$= 0.01 \times 0.8 / (0.01 \times 0.8 + 0.02 \times 0.2) = 8/12 = 2/3$$

である。(一般に、$P(A|B)$ は、B という条件の下での A の確率(条件付確率)を表す。また、上記の $P(M|D)$ の算出については、ベイズの定理を使った。)

$P(D|M)$、$P(M|D)$ を通常の条件付確率と考える限り、ここに何の問題もない。一方、傾向説での解釈では、$P(D|M)$ については問題はない。それはまさに機械 I が不良品を作り出す傾向である。しかし、$P(M|D)$ については、傾向を部分的原因と考えるならば、夕方に不良品を取出すことが、その日の昼間にその不良品が機械 I によって生産されたことの 2/3 の部分的原因である、ということになり、これは意味をなさない。

こうした批判に対しては、各種の解決策が提案されているが、そのうち、(1)確率的因果説と(2)長期傾向説とを見ておこう。

(1)確率的因果説[24]

傾向が部分的原因だとすれば、それは時間的に非対称であり、確率ではあり得ない。確率とはコルモゴロフの公理を満たすものであったから、傾向が確率でないとすれば、傾向の満たすべき新たな公理系を作ればよい。このような発想から開発されたのがフェッツアー(Jim Fetzer)の「確率的因果計算(probabilistic causal calculus)」の理論である。それは、非ユークリッド幾何学にならって、非コルモゴロフ的確率論と呼べよう。ところで、現代の数学はコルモゴロフの公理をベースとする確率論によって既に厖大かつ精緻な定理を得ている。これを捨てて他の公理系に乗り換えるとすれば、現在の公理系では解決出来ない余程の困難に直面するか、あるいは新しい公理系を採用することで余程の成果が見込まれる場合に限られるだろう。

(2)長期傾向説[25]

一般に、繰返し可能な状況の集合を S とし、$P(A|B)$ とは $P(A|B\&S)$ の略であると考える。ここに B&S は、次のような繰返し可能な状況の集合である。即ち、S を繰返すのであるが、B の要素であるような結果にだけ注目し、そうでない場合には無視する。事象の条件付確率をこのように解釈すれば、フリスビーの例でも、全ての条件付確率は意味を持ち、何ら問題は生じない。即ち、夕方にフリスビーの一つをランダムに抽出し、不良品かどうかを試験するという、繰返し可能な状況の集合を S とする。$P(M|D)$ とは $P(M|D\&S)$ の短縮形であると解釈する。つまり、$P(M|D\&S)$ が 2/3 であるとは、夕方に試験するということを毎日繰返し、抽出されたフリスビーが不良品であった日にだけ注目すると、それが機械 I によって生産されていることはおよそ 2/3 に近い頻度で起るということである。個々の場合において、抽出されたフレスビーが不良品と分るまでに M か N かは既に決まっているけれども、長い系列の頻度と考えることで、完全に意味を持つ。

この場合、傾向は最早、部分的原因とは考えられていない。かわって頻度が登場するので、傾向説は頻度説に還元されるのかという疑問が生じよう。頻度説については次節で詳しく論じる予定であるが、この疑問については、頻度説では確率はコレクティヴに関係づけられるのに対して、傾向説では確率は傾向であり、繰返し可能な状況と関係づけられる点で、両者は異るのである。

確率について、ここ迄のところを整理・要約すれば、下図のようになる。

《**傾向説**》　　　　　　　　　　　　　　数値化（数値としての確率）
・**可能性**（ラプラス）――――・好都合な場合の数／同等に可能な場合の数　　　(A)
　　　　　　　　　　　　　　　　・好都合な場合の数／決めかねる程度が同じ場合の数　(B)
・would-be（パース）
・**何者か**（レヴィ）
・**傾向性**（ポパー）

(A) の発展形として、
・加重された可能性（ポパー）
・原因の分布（小論）
・測度論的確率論（コルモゴロフ）

(B) の発展形として、
・無差別の原理（ケインズ）

《**頻度説**》
・**コレクティヴ**（フォン・ミーゼス）――――・頻度　　(C)

小論においては、(A) と (C) とは確率の**客観的な解釈**を与え、(B) は**認識論的な解釈**（認識のあり方に関わるような解釈）を与えるものと考える。ケインズの無差別の原理は確率の《**論理説**》に繋がるものであり、さらにそれを批判する形でラムジー（Frank Plumpton Ramsey、1903-30）やデ・フィネッティ（Bruno De Finetti）の《**主観説**》が提起された。それらについては、第６節、第７節で述べる。

## §5. 頻度説

本節ではフォン・ミーゼスの頻度説を詳しく見てみよう。

既に触れたように、フォン・ミーゼスによれば、個別事象の確率には何の意味もない。「我々の確率論は、例えば＜ドイツが将来いつかリベリアとの戦争に巻込まれる確率はあるのか＞などの問とは何の関係もない」。また、「40歳のX氏が今後一年間に死亡する確率は0.011である、などと云うのは全くナンセンスである」[26]。確率は適切に定義されたコレクティヴを参照することによってのみ意味を持つ。フォン・ミーゼスの考えは「先ずコレクティヴ、それから確率（First the Collective －then the Probability）」という言葉に端的に表明されている[27]。この意味でミーゼスの確率は全て条件付確率である。

例えば、骰子を繰返し投げたときの出た目の系列はコレクティヴである。一回一回の投げの結果はコレクティヴの要素であり、出た目の数―六であるとか、偶数であるとか―は要素の性質である。六の目あるいは偶数の目の出る相対頻度は、夫々一定の極限値1／6、1／2に収束する。奇数が三回続いた後の目だけを選んだ場合にも、六の目あるいは偶数の目の相対頻度は収束し、その極限値は、もとの系列における極限値1／6あるいは1／2と変わらない。

厳密には、コレクティヴとは、次の二つの条件を満たす集団現象あるいは観察結果の無

限系列である：

（1）〔収束の公理〕 コレクティヴの要素の性質の相対頻度は一定の極限値に収束する。

（2）〔偶然性の公理〕 これらの一定の極限値は如何なる箇所選択（place selection）によっても影響を受けない。即ち、事前に定められた規則に従って選択された部分系列において相対頻度を計算しても、それは、もとの系列におけるのと同一の極限値に収束する。

この、如何なる箇所選択によっても影響を受けない相対頻度の極限値は、「与えられたコレクティヴにおける確率」と呼ばれる。単に「確率」と云われる場合もあるが、それは省略形である。確率とは、先ずはコレクティヴがあっての確率である。

（2）は「賭博方式排除の公理」（principle of the impossibility of a gambling system ）とも呼ばれる。ここで本質的な条件は、部分系列としてどのメンバーを選ぶかは、それについての観察の結果とは独立でなければならないということである。即ち、選択はその結果について何かが知られる前になされなければならない。そのようなどんな方式―例えば、「奇数が３回続いたら次は偶数に賭けよ」とか「７回ごとに賭けよ」とか―を採用したところで、長期的に勝利のチャンスを高めることは出来ない、というのがこの公理の意味するところである。この公理を満たすコレクティヴにおいて有利な賭の規則を求めることは、永久機関を製作しようと試みるようなものである。

結局、コレクティヴとは、性質の相対頻度が特定の値に向って収束し（収束の公理)、しかも、どんな規則に従って部分系列を選び出そうともその極限値は変らない（偶然性の公理あるいは賭博方式排除の公理）ような系列である。

コレクティヴでない系列としては、１マイル間隔で大きな石、0.1マイル間隔で小さな石の道標の並んでいる道がその例である。

●・・・・・・・・・・●・・・・・・・・・・●・・・・・・・・・・●・・・

大きな石は1／10の極限頻度を、小さい石は9／10の極限頻度を有するので、（1）は満たされている。しかし、奇数番目の道標だけを選べば大きい石の頻度は1／5、小さい石の頻度は4／5となり、また偶数番目の道標だけを選ぶことにすれば頻度は夫々0／5＝０、5／5＝１となって、（2）は満たされない。つまり偶然性がないのである。

コレクティヴに対しては、フォン・ミーゼスがそれを発表した当初から、収束の公理と偶然性の公理とは相容れない―矛盾する―のではないかという批判があった。前者は高度の規則性を要請し、後者は高度の無秩序を要請する（少しでも秩序があれば、それを利用して有利な賭の規則を作ることが可能になる）からである。もし矛盾するならば、収束の公理と偶然性の公理とを共に満たすコレクティヴなるものを定義してみたところで、そのようなものは存在しないということになる。

この問題については多くの科学者が様々に取組んだ結果、今日では肯定的に解決されている。それについては後で見ることにして、フォン・ミーゼスが以上のような考えをとるようになった背景をもう少し追っておこう。

フォン・ミーゼスはリヒテンベルグ（Georg Christoph Lichtenberg）の「我々の哲学は全て言葉の日常的な使用法の修正である」を引用することで『確率、統計、真理』を開始する[28]。フォン・ミーゼスは、科学においては正確な概念が明示的な定義によって導入されなければならないと考えた。それは、日常的な「仕事」に対して、力学でのそれが、力×距離、あるいは、$\int Fds$ で与えられるようなものである。リベリアとの戦争に巻込ま

れる「確率」に居場所がないのは、舞台の上で黙って坐っている俳優が何の「仕事」もしていないのと同じである[29]。

このように、数理科学の正確な概念は明示的な定義によって導入されるべきだというフォン・ミーゼスの定義主義（definitional thesis）に対して、数学者クラメール（Harald Cramér、1893-）は次のように批判している：「フォン・ミーゼスのコレクティヴでは、厳密に数学的な意味での極限値の存在が、理論の第一公理として、自明のことと見做されている。一見それは非常に魅力的な定義に思われるが、それは或る種の数学的に困難な諸問題を含んでおり、それらは、見掛け上の単純さのかなりな部分を失わさせる。しかも、こうした確率の定義は経験的要素と理論的要素とが混じり合っており、そうした混合は現代の公理的な理論では通常避けられる。それは、例えば、幾何学的な「点」を、チョークで打ったスポットの限りなく小さくなる極限として定義するようなものである。」[30]

フォン・ミーゼスは操作主義的・実証主義的考え方をマッハ（Ernst Mach、1838-1916）から受継いだ。フォン・ミーゼスの確率論は、マッハの力学に対応する。マッハは、ニュートン力学では質量の概念を十分に説明出来ないと批判し、観察可能なものの言葉で質量を操作主義的に定義しようと試みた。マッハが質料や力を説明するこうしたやり方を、フォン・ミーゼスは確率を説明するのに用いたのである[31]。

しかし、フォン・ミーゼスのやり方は、確率を観察可能な頻度で定義するという限りでは操作主義的なものであっても、無限系列の極限値を使用するので、観察と理論との結びつきが確保されているとは云い難い、という批判があり得よう。実際、二つの系列の頻度が最初のn項まで一致し、その後別々の極限値に向うことはあり得ることである。

これについて、フォン・ミーゼスは、有限なものを無限なもので表すことは、数理物理学ではどこでも行われていることであり、自分の狙いは、確率論を他の数理物理学と同程度の厳密さで表現することだけだと主張している。例えば、密度を$\delta M/\delta V$の極限値として定義することは、確率を頻度の極限値として定義するよりもっと不都合である。$\delta V$が分子の大きさ程度まで小さくなれば$\delta M/\delta V$は大きく変動するだろう[32]。彼は云う：「無限なコレクティヴという概念に基礎を置いた理論の帰結は、論理的には不十分でも、現実問題としては十分に正確な仕方で、観察の有限系列に適用出来る。この場合の理論の、観察に対する関係は、他の科学と本質的に同じである。」[33]

これに対し、確率の主観説を展開したデ・フィネッティは、確率論とその他の物理科学とはまさにこの点で異るのだと主張する。つまり、確率の計算においては、たとえ予測が外れても、95%の確率で予測した方ではなく、5%で予測した方が実現したのだと「云い抜ける」ことが出来る。他の科学ではそうはいかない。他の科学においては理論は現実との突合せでチェックされるが、確率論の場合にはそれは不可能である、と[34]。

さて、収束の公理と偶然性の公理とは相容れないのではないかという問題に戻ろう。現代数学としての確率論の発展に多大の貢献をなしたフランスの数学者ボレル（Émile Borel、1871-1956）やレヴィが哲学的には主観説論者であったことはよく知られている。客観説に対する彼等の批判は、専ら、その当時に提起されたフォン・ミーゼスの頻度説に向けられたものであり、その趣旨は、「人間は偶然を真似ることは出来ない」というものであった。

ボレルは云う：

コレクティヴの理論（…）に対してなされ得ると私に思える本質的な反対論は、（…）人間の精神にとっては偶然を完全に模倣すること（…）は不可能であるということである[35]。

また、レヴィは、

ボレルは類似した考えを持っていて、偶然を真似ることは出来ないと云った。人は偶然の或る性質を真似ても、それらを全て真似ることは出来ない[36]。

ここで、「偶然を真似ることは出来ない」と云われているのは、コレクティヴは偶然を真似たものと見做されているからである。収束の公理に加えて偶然性の公理を満たすものがコレクティヴであり、確率はコレクティヴについて定義された。しかしそうしたコレクティヴのようなものを人間は構築し得ないというのがボレルやレヴィの主張である。

ボレルは、この点で、幾何学との相違を強調する。幾何学においては、経験的な不完全な直線の代りに、観念的な直線を導入し、そうすることで、我々は、真に基本的な諸性質だけを保存し、諸々の偶有性を除去する。直線によって形づくられる図形のあらゆる性質はこの公理的定義から演繹され得る。偶然に対しては、そうはいかない。経験的な偶然に代えて、何らかの合理的メカニズムを導入することは人間精神にとって不可能である[37]。

これは、現代数学としての確率論について前に述べたことと矛盾しない。前に云ったことは、数学では確率を無定義語として導入する、ということであり、ここで云うのは、コレクティヴのような構造を備えたものをベースに偶然を定義することは不可能である、ということである。実際、「数学」としては、コレクティヴの実例を作り出すことは出来ない。何故なら、コレクティヴは無限な系列であり、無限系列の実例を作り出すためにはそれを生み出す数学的な規則を与えなければならないが、そうすると今度はその規則それ自体が有利な賭博方式に利用されてしまうことになるからである。このように全ての可能な賭博方式の排除を要求するならば、コレクティヴは存在し得ない。

この点について経験主義者であるフォン・ミーゼスは、「（賭博方式に関する）唯一の本質的な条件は、もとの系列の或る要素が選択された部分列に属するかどうかは、観察の結果とは独立に、即ち、結果について何かが知られるよりも前に、決められなければならない、ということである」[38]と、簡単に済ませている。

ランダムな無限系列を実際に作り出すことの困難さは、次の例によっても推測される：いま０、１から成るランダムな系列を書き上げるとしよう。０００の後には必ず１を書くという訳には行かない。０が三つ続けば次は１に賭けよ、という有利な賭け方が存在することになってしまうからである。従って、系列のどこかには必ず００００が存在する。しかもこの００００という並びは何回でも際限なく現れる。もしそうではなく、例えば千回しか現れないとすると、千回目が過ぎた途端に、「０が三つ続けば次は１に賭けよ」が有効になってしまうからである。そして、今度は、この００００に対して、０００に対する上記の論法と全く同じ論法を使って、０００００の存在と、それが無限回現れることが示される。かくて、ランダムな無限系列では、０が一万個連続して並んでいる箇所が必ずどこかに存在し、しかもそれは無限回現れなければならないということになってしまう。百万個並んだ０についても同様である。

さて、収束の公理と偶然性の公理とを巡るこうした困難に対しては多くの学者が取組ん

だが、ここではチャーチ（Alonzo Church、1903-）の功績を見ておきたい[39]。

チャーチは、選択されるべき要素が実際に計算出来る（アルゴリズムで示される）ものでなければ賭博方式ではない、とすることを提案した。即ち、「偶然性の公理」とは、計算可能な如何なる賭博方式による選択によっても影響されないことである、と。これは、実際に計算可能な賭博方式つまり実行可能な賭博方式だけを排除しようとするものである。チャーチは、この場合には、収束の公理と偶然性の公理の両方を満たすような系列が存在することを示した。

このような頻度説について、傾向説を唱えたポパーは、科学的確率言明についてどのような解釈が採用されようとも頻度解釈の重要性は揺るがない、とする。経験的テストにかけられるのはいつでも頻度言明だからである。

しかし、フォン・ミーゼス後の数学としての確率論の発展の歴史を見れば、フォン・ミーゼスの頻度説は、結局は、コルモゴロフの公理系に基く測度論的確率論に吸収されるべきものであった。測度論的確率論は、既述のように、次の二つの公理だけから出発する：

（ア）$0 \leqq P(A) \leqq 1$、特に、$P(\Omega)=1$

（イ）$P(\Sigma A_n)=\Sigma P(A_n)$　　（可算加法性）

従って、測度論的確率論においては、フォン・ミーゼスの（1）収束の公理と（2）偶然性の公理とは、最早「公理」ではなく、証明されるべき「定理」として扱われる。そして、実際にそれらは、或る条件の下で、証明されている。「大数の法則」や「無規則性の定理」がそれである。

逆に、フォン・ミーゼスの頻度説では、収束の公理と偶然性の公理とを天下り的に認め、それを基に確率を定義するという方法をとる。コレクティヴの二つの公理（1）（2）から、測度論的確率論の二つの公理（ア）（イ）を導こうというのである。

先ず（ア）については、収束の公理（1）から、次のように簡単に出て来る：

系列の最初の n個の要素において性質 A が m (A) 回起きるとすると、

$$P(A)=\lim m(A)/n$$

であるが、$0 \leqq m(A)/n \leqq 1$ だから、$0 \leqq P(A) \leqq 1$.

また、$m(\Omega)/n=n/n=1$ だから、$P(\Omega)=\lim m(\Omega)/n=1$.

次に、（イ）であるが、可算無限個の性質に対する加法性を意味するこの可算加法性は、フォン・ミーゼスの公理からは導くことが出来ない。導けるのは、有限個の性質に対する加法性—有限加法性—のみである。それには、

$$A、B が排反のとき、P(A \vee B)=P(A)+P(B)$$

を云えばよいが、その証明は、$m(A \vee B)/n=(m(A)/n)+(m(B)/n)$ に収束の公理を用い、極限へ移行すればよい。

このように、フォン・ミーゼスの公理から可算加法性は導き出せないが、これについて、経験的なコレクティヴでは性質空間が有限だということがある。可算加法性の問題が扱えるような無限の性質空間をどうすれば導入出来るかは明らかではない。現代確率論の精緻な結果は可算加法性をもとに始めて得られるものであるから、頻度説では有限加法性しか云えないということは頻度説の大きな弱点である。これが、頻度説が測度論的確率論にとってかわられた大きな理由である。

最後に、頻度説と傾向説の関係を見ておこう。「先ずコレクティヴ、それから確率」という言葉に端的に表明されているように、フォン・ミーゼスの考えからすれば、単独事象の確率というようなものは全くナンセンスである。一方、ポパーは、量子力学の解釈に当り、単独事象にも客観的な確率を認めることが是非とも必要だと考えた。これについては、単独事象としてコレクティヴの要素である一つの事象をとり、その事象の有する性質がコレクティヴ全体の中で示す確率（その性質の相対頻度の極限値）をもって、当該単独事象の性質の確率であると見做せばよい、ということが考えられよう。しかし、ポパーはこの考えに満足せず、傾向説を唱えるに至った。ポパーの議論は以下の通りである[40]：

正常な骰子 A と、六の目の出る確率が 1／4 であるような骰子 B とがあるとしよう。出た目の系列で、その殆どは B を投げた結果であるが、二、三箇所、A を投げた結果も挿入された系列を考える。さて、この系列中、挿入された部分について、それが六である確率を問おう。今やそれらの試行は六の目の出る頻度が 1／4 である試行系列の一部をなしているのであるから、上記の考え方からすれば、この確率は 1／4 ということになる筈である。しかし、一方で、それは正常な骰子を投げた結果であるから、六の確率は 1／6 でなければならない。

このようなパラドクスを避けるには、上記のような系列はコレクティヴではないとすればよい。ポパーは、コレクティヴに制限を加え、コレクティヴとは、一連の生成条件によって特徴づけられる系列でなければならない、とした。この生成条件が繰返されることによって、系列の要素が生じて来る。これは一見微細な修正のように見えるが、この修正こそが頻度説から傾向説への移行を齎したのであった。この修正により、確率は、系列の性質から生成条件の性質へと、変貌を遂げたのである。

次に、頻度説の「偶然性の公理」を見てみよう。偶然性の公理とは、表が出る確率が p の硬貨投げの例で云えば、もとの硬貨投げの系列から箇所選択によって抽出された任意の部分系列において、観察される頻度は矢張り p に収束することを意味する。そのような部分系列は、矢張り、表の出る確率が p であるような、独立な系列であるから、P（部分系列において n 回中表が r 回）$={}_nC_r p^r(1-p)^{n-r}$であり、これをもとに、後は§１で述べた大数の法則の証明と同じステップを踏めば、部分系列における表の頻度が p にいくらでも近い確率は１に収束することが示される。かくて偶然性の公理は、傾向説では、実質的に、独立性の概念に還元されることが分った。（なお、この部分系列の頻度 r／n の収束は、「数列が収束すれば、その部分数列は同じ極限に収束する」という解析学の定理とは全く別である（n は部分系列における投げの総回数であることに注意））。

本節を要約しておこう。頻度説は観察可能な頻度をもって確率を定義するから操作主義の哲学をベースにしている。フォン・ミーゼスがマッハの忠実な弟子であったのは偶然ではない。一方、傾向説は、確率をコレクティヴにではなく、繰返し可能な状況に関係づけることで、より広い対象を扱うことが出来るようになった。それはまた確率を未定義語として扱う道でもあり、現代的な数学の確率論の方法に通ずる。

## §６. 論理説

本節と次節とは、第４節の末尾で予告しておいたように、確率の論理説と主観説とを述

べる。前節まで見て来た頻度説、傾向説では、確率とは主として自然的偶然に関わるものであり、客観的なものであった。論理説や主観説においては、確率とは認識のあり方に関わるものであり、信念の度合いを示す尺度が確率なのである。その信念を論理的なものと考えるか、主観的なものと考えるかで、論理説と主観説とに分かれる。

論理説では、仮説ｈの確率とは、証拠ｅが与えられたときの合理的信念の度合いであり、それは全ての合理的な人間にとって同じであるとされる。これに対して、主観説では、各人が夫々完全に理性的であっても、同じ証拠ｅをもとに、ｈについて異る信念の度合いを持つだろうとする。論理説はケインズが唱えたものであり、主観説は、それに対する批判として、ラムジーやデ・フィネッティが主張したものである。それで、先ず論理説から見て行こう。

ケインズは『確率論』で次のように述べている：「一般に認められているように、前提が結論を導くと直接に判断出来る場合がある。そうだとすれば、それを少し拡張すれば、前提が部分的に、あるいは確率的に、結論を導く場合もあるということになろう。」[41]

例えば、

ｅ：幾千羽のカラスが観察され、それらがみな黒かったという証拠

ｈ：全てのカラスは黒いという仮説

ｄ：次に観察されるカラスは黒いだろうという予測

としよう。よく知られているように、ヒュームは、ｅからはｈもｄも帰結しないと論じた。しかし、ｅがｈやｄを必然的に導かないとしても、ｅは部分的にｈやｄを帰結させると云えないだろうか。これがケインズの出発点である。

我々は、日常、結論が「疑わしい」とか「不確かである」とか云っているけれども、これらの語は、厳密には、結論に対する合理的信念の度合を表すべきものであるとし、ケインズは次のように定義する：「前提は命題の集合hから成り、結論は命題の集合aから成るとしよう。hの知識が、aに対する度合$\alpha$の合理的信念を正当化するならば、aとhとの間には度合$\alpha$の確率関係（probability-relation）があると云い、$a/h=\alpha$と書く。」[42]（a、hはどちらも命題の集合であるから、a／hは分数の形をしているけれども、比としての数を意味するものではない。）

なぜ確率を事象にではなく命題に関係させるのか。それは、従来の「事象の生起」には極めて曖昧なところがあり、そうした曖昧さを払拭するためには「命題の真と確率」に替える必要があるのだ、とケインズは云う。そこには、数学を論理学の基礎の上に再構築しようとしていたラッセル（Bertrand Russell、1872-1970）の影響が見られる。そして、そこからはまた、信念が合理的なものであることが要請される：「我々の知識を決定する事実がひとたび与えられると、これらの状況の下で、何が確からしく何が確からしくないかは客観的に決まり、我々の意見とは独立である。従って確率論は論理的である。」[43]

このような方法をとると、確率は全て条件付となる：「如何なる命題もそれ自体としては蓋然的でも非蓋然的でもないのは、如何なる場所も本来的には遠くも近くもないのと同じである。同一の言明の確率は示される証拠によって変わる。」[44]

確率には数値が付与されるとは限らない。それだけでなく、常に大小が定まるとは限らない。それで、確率には次の三通りのペアが存在することになる：①どちらが大きく、ど

ちらが小さいかを云うことが不可能、②大小は云えるが、数値を付与出来ない、③数値が付与され、従って大小が云える。つまり、ケインズの確率は、数学的に云えば、「部分的な順序関係」をなす。

では、数値が付与される場合、それはどのような基準によって付与されるのだろうか。そこで登場するのが、§２で述べておいた「無差別の原理」である。無差別の原理は、「幾つかの選択肢のうち特定の一つだとする理由が知られていなければ、そのような知識の状況と相対的に、何れの選択肢の主張も同じ確率を持つ」[45] とする。この原理から出て来る多くの困難については、ケインズ自身が詳細に論じている。

先ず§２で挙げた本の例については、無差別の原理が適用出来ないのは、選択肢の一つである「非赤」が、青、緑、黄、…というように、分割可能だからである。そこで、ケインズは、選択肢の数が有限で、分割不可能な場合にだけ無差別の原理を適用すべきだと考えた[46]。この考えに従えばパラメーターθが区間〔a、b〕のどこかにあるような連続的な場合には無差別の原理は適用出来ない筈であるが、ケインズは区間を同じ長さの小区間に分割し、それらに対して無差別の原理を適用出来るとする[47]。しかし、それはうまくいかない。§２のワインと水の例で、水に対するワインの比〔1／3、3〕を長さ1／6の区間で16 等分し、左から右へ、1、2、…、16 と番号をつける。ワイン／水≦2 は、1 番から 10 番までの区間に対応するから、その確率は 10／16 である。一方、水／ワインについても同じことを行うと、水／ワイン≧1／2 は、2 番から 16 番までの区間に対応するから、その確率は 15／16 である。ところが、水／ワイン≧1／2 ということはワイン／水≦2 ということに他ならない。

実は、有限個の、分割不可能な選択肢の場合にも、問題が生じる[48]。硬貨を二回投げる場合を考えよう。表は、一回も出ないか、一回だけ出るか、二回出るかのいずれかであり、これらはそれ以上分割出来ないから、無差別の原理は、これらに夫々 1／3 の確率を割当てる。だから、表がちょうど一回出る確率は 1／3 である。しかし、硬貨を二回投げる場合、その結果は、表表、表裏、裏表、裏裏のいずれかであると考えることも出来る。そして、これらはそれ以上分割出来ないから、無差別の原理はこれらに夫々 1／4 の確率を付与するだろう。そうすると、表がちょうど一回出る確率は、表裏の確率と裏表の確率の和として、1／2 となり、前と違った結果が出る。

歴史的なことを云えば、ベイズの定理の発見者であるベイズ（Thomas Bayes、1702－61）は、この二つの考え方のうち前者の考え方を選んだ。後者では経験からの学習が起らないからである。これを見るため、硬貨は何回も続けて投げることにして、最初のｎ回の試行結果を e とし、ｎ＋１回目の試行で表が出るという仮説をｈとしよう。ｎ回の試行は、表と裏の $2^n$ 個の可能な組合せから成る。e はその組合せ中の或る特定のケースであるから、後者の考え方による確率をPで表すことにすると、P（e）$=1/2^n$ であり、同様に P（e&h）$=1/2^{n+1}$ である。そうすると、ベイズの定理により、$P(h \mid e) = P(e\&h) / P(e) = (1/2^{n+1}) / (1/2^n) = 1/2$ である。これは、事後確率 $P(h \mid e)$ が事前確率 $P(h) = 1/2$ と変わらないことを示しており、経験からの学習は起らない。

ところで、無差別の原理は物理学で非常な成功を収めた。ここで、ボルツマン統計からボース・アインシュタイン統計への移行を考えてみよう。粒子がMという性質を持っていれば１、そうでなければ０としよう。二つの粒子a、bについて、ボルツマン統計では、１１、

１０、０１、００に区別し、夫々に１／４の確率を与える。これは、統計の対象である粒子が古典的な粒子であり、互いに識別出来ることに対応している。しかし、粒子が光量子のように互いに識別出来なければ、０１と１０の区別は出来ず、従ってボース・アインシュタイン統計では四つではなく、三つの可能性に対して夫々確率１／３が割当てられる。どちらの確率を選ぶかは、ベイズの場合には、経験から学ぶことに関して満足な結果が得られるのはどちらの確率かという場当たり的な理由によってであったが、物理学の場合には光量子の識別不可能性という事実に基いている。このように、無差別の原理は、粒子の識別不可能性など他の追加的な前提とともに用いられれば、物理学の仮説を立てるのに非常に有用である。そして物理学ではそれらの仮説は経験的にテストされる。

このように無差別の原理は物理学では有用であるが、一般には、それをどう使うかで違った結果が出ることは論理説にとって致命的な欠陥だとされている。しかし、本当にそうだろうか。そもそも「無差別」とか「一様」とかは相対的な概念であり、何について無差別なのか、何に関して一様なのかを指定しなければ意味をなさない筈である。どういう分割や変数を選ぶかによって、無差別であったりなかったりするのはむしろ当り前のことであろう。ワインと水の例において、水に対するワインの比を一様と見るか、ワインに対する水の比を一様と見るかで、結果が違ってくるのは当然である。 x が或る区間で一様に分布しているならば、その逆数 1／x は対応する区間の上で一様には分布していないことは、y＝1／x のグラフを画いて見ればすぐに分ることである。ベルトランの例（弦が円に内接する正三角形の一片よりも短い確率）にしても、弦をどう作図するかに対応して確率が違って来るだけのことであり、作図方法を決めれば確率は一意に定まる。

以上は無差別の原理についてであったが、次の問題に移ろう。論理説における条件付確率P（a｜b）において、 a は仮説であり、P（a｜b）は知識ｂのもとで仮説aを信じる度合である。論理説によれば、P（a｜b）について何らかの判断を下せるのは、ただ過去の結果に基いてだけであるから、当の実験で、過去にどういう結果が出たかは、確率にとって大いに関係がある。従って、b は過去の関係する知識全てを含んでいなければならない。一方、傾向説では、b は反復可能な状況の反復可能な条件である。それは先行する実験には関係しない。さて、そこで、壷から玉を一個取出し、その玉の色をノートに記録した後、玉を元の壷に戻し、よくかき混ぜ、再び玉を一個取出す、という操作を何回も繰返す実験を考えて見よう。傾向説によれば、恒常的で客観的な条件 b の下では、壷から白玉を引く確率は一定だと主張する（壷の中の玉の総数に対する白玉の数の比)。論理説では、確率とは部分的帰結あるいは合理的信念の度合であるから、白玉を引く確率は、各回の玉を引いた結果がどうであったかによって変って来るだろう。そのことは、論理説では、各回の試行は独立ではないとせざるを得ないことを意味する。何故なら、各回の試行が独立であるとは、それ迄の結果をご破算にして毎回振りだしに戻ることを意味し、従って、確率は過去の結果には関係しないからである。しかし、壷からの玉の取出しが独立でないとすれば、過去の取出しの結果が現在の取出しの結果に対して、物理的にどのように影響するというのだろうか。論理説にはこのような問題があるのである[49]。

独立であるかないかは「大数の法則」にも関係する。第１節で見たように、大数の法則は各回の試行が独立であることを使って証明される。それで、論理説では大数の法則が云

えないことになる。然るに「大数の法則」は、確率論の数ある法則（定理）のうちでも最もベーシックなものの一つであるから、それが云えないということは大きな痛手である。そもそも論理説では大数の法則をどう解釈すればよいのかということ自体が不明である。命題にではなく、事象に確率を付与する場合には、その事象の生起する確率をpとし、互いに独立なn回の試行においてk回その事象が生起したとすると、与えられた任意の正数$\varepsilon$に対して$|(k/n)-p|<\varepsilon$となるような確率は、nが大きくなるに従って1に近づく、というのが大数の法則であった。然るに、命題に確率を付与する論理説では、pは合理的信念の度合だとして、k／nとは果たして何だろうかという問題、そしてその二つが関係し合うというのはどういうことかという問題が生じる。さらに「$|(k/n)-p|<\varepsilon$となるような確率」というときの「確率」もまた合理的信念の度合であろうが、それと先の合理的信念pとの関係も不明である。なお、確率の認識論的解釈には、論理説の他に主観説があるが、その主観説では、独立性に代えて可換性の概念を導入し、主観的な確率（賭け率）が現実に観察される頻度に収束することを証明する。これについては第7節で見ることにしよう。

論理説として、最後にウィトゲンシュタイン（Ludwig Wittgenstein、1889-1951）の確率を見ておきたい。ウィトゲンシュタインについて論じられることは多いが、その確率について論じられることはあまりない。しかし、彼の確率は、論理的な確率とは如何なるものであり、どんな問題を抱えているかを鮮やかに示してくれるので、ここに取上げる次第である。

ウィトゲンシュタインは、『論理哲学論考』において、以下のように、命題の真理根拠の個数に基いて確率を定義している[50]。簡単な例を用いて説明しよう。p、qを要素命題とすると、p∨q（pまたはq）、p・q（pかつq）、～p・q（非pかつq）、p・～q（pかつ非q）の真理表は、次のようになる：

| p | q | p∨q | p・q | ～p・q | p・～q |
|---|---|---|---|---|---|
| T | T | <u>T</u> | <u>T</u> | F | F |
| F | T | <u>T</u> | F | <u>T</u> | F |
| T | F | <u>T</u> | F | F | <u>T</u> |
| F | F | F | F | F | F |

命題の真理根拠とは、その命題を真にするような真理変項の真理可能性（その命題を真にするような要素命題p、qの真偽の組合せ）を云う。命題p∨qの真理根拠はTT、FT、TFであり、命題p・qの真理根拠はTTであり、命題～p・qの真理根拠はFTであり、命題p・～qの真理根拠はTFである。ウィトゲンシュタインは、一般に、命題rが命題sに与える確率P（s｜r）を、

$$P(s \mid r) = T_{rs}/T_r$$

によって定義する。ここに、$T_r$はrの真理根拠の個数であり、$T_{rs}$はsの真理根拠のうちrのそれでもある真理根拠の個数である。上記の表から分るように、

$$P(p \cdot q \mid p \vee q) = P(\sim p \cdot q \mid p \vee q) = P(p \cdot \sim q \mid p \vee q) = 1/3$$

である。また、要素命題pの真理根拠はTT、TFであり、要素命題qの真理根拠はTT、FTであると見做せるので、

$$P(p \mid p \vee q) = P(q \mid p \vee q) = 2/3$$

である。

以上で分るように、ウィトゲンシュタインのいう確率は、純粋に論理的なものであり、まさにケインズのいう「部分的な帰結の度合」に他ならない。例えば、P（p｜p∨q）について云えば、pは、p∨qの三つの〈部分〉p・q、～p・q、p・～qのうちの二つの〈部分〉p・q、p・～qに相当するということが、P（p｜p∨q）＝ 2／3 ということである。さらに、ウィトゲンシュタインは「命題はそれ自身では蓋然的でも非蓋然的でもない」[51]と云っているが、これは前に引いたケインズの言葉「如何なる命題もそれ自体としては蓋然的でも非蓋然的でもないのは、如何なる場所も本来的には遠くも近くもないのと同じである」に対応する。このように、ウィトゲンシュタインの確率は、ケインズの確率と同様に、条件付である（命題sの確率は他の命題rとの関係においてのみ定まる）。

部分的な帰結の極限が、「rからsが帰結する」場合である。ここに、「rからsが帰結する」とは、rの真理根拠が全てsの真理根拠であることを云う。この場合、$T_{rs}=T_r$ であるから、rはsに確率1を与える[52]：P（s｜r）＝ 1。

要素命題の全ての真理可能性に対して真であるような命題を同語反復命題と呼び、要素命題の全ての真理可能性に対して偽であるような命題を矛盾命題と呼ぶ。明らかに、どんな命題も同語反復命題に確率1を与え、矛盾命題に確率0を与える。

また、命題が互いに「独立」であるとは、それらの命題が真理変項を共有しないことを云う。二つの要素命題は互いに独立であるが、さらに、二つの要素命題は互いに確率1／2を与える。何故なら、二つの要素命題をp、qとして、pの真理根拠はTT、TFである。一方、qの真理根拠はTT、FTであるが、このうちpの真理根拠でもあるのはTTだけであるから、P（q｜p）＝1／2である。P（p｜q）＝1／2についても同様である。

とりあえず、これ迄のところについて、問題点を整理しておこう。

コルモゴロフの測度論的確率論では、事象A、Bが独立であるとはP（A∩B）＝P（A）×P（B）が成り立つことを云う。確率論において、積によるこの「独立」の定義は極めて大きな役割を果たし、確率論固有の様々な重要な定理は独立性を仮定することによって得られると云っても過言ではない。確率論を単なる「測度論」から区別するのは独立性の概念である。これに対して、ウィトゲンシュタインの確率は、真理根拠の個数の比によって定義されるので、積を用いる方法では独立性をうまく定義出来ない。例えば、二つの要素命題p、qは互いに独立であるから、積による定義にならえば、

P（p・q｜p∨q）＝P（p｜p∨q）×P（q｜p∨q）

となる筈であるが、これは成り立たない。先に見たように、左辺は1／3即ち3／9であり、右辺は（2／3）×（2／3）即ち4／9である。

これは、つまりは、ウィトゲンシュタインの確率は条件付確率であるから、そうした確率によってはコルモゴロフ流の独立性を定義出来ないということである。即ち、一般に、積による独立性の定義　P（A∩B）＝P（A）×P（B）は、P（A｜B）＝P（A）と同値であるが、ウィトゲンシュタインの場合には確率は全て条件付なので、この最後の式に相当する関係は存在し得ない。こうした事情から、ウィトゲンシュタインは、独立性を定義するのに、「真理変項を共有しない」というような定義を採用せざるを得なかったのであろう。このようにウィトゲンシュタインの独立性は積によるものではないので、測度論的確率論に

おいて積による独立性をもとに得られている重要な結果は、ウィトゲンシュタインの確率論からは得ることが出来ない。

また、二つの要素命題が相互に確率1／2を与えるということ（P（q｜p）＝P（p｜q）＝1／2）が問題になるだろう。この場合、1／2という数値は、0と1との丁度真ん中としてニュートラルであり、一方の命題の成立は他方の命題の成立・不成立に全く影響を与えないということを反映していると考えられる。しかし、二つの命題が相互に独立ではなく、一方の真理根拠の半分を他方が共有している場合にも、前者は後者に1／2の確率を与える。同じ1／2という確率であるが、前の場合には、全く関係がないという意味で1／2なのであり（0と1との丁度真ん中―ニュートラル―としての 1／2）、後の場合には部分的な帰結の度合として1／2なのである。さらに、これとの関連で、1／2より小さい確率についてはどう解釈すればよいのかという問題がある。例えば、先に見たようにP（p・q｜p∨q）＝1／3であるが、これはP（q｜p）＝1／2よりも小さい。しかし、p∨qとp・qとの間には部分的な帰結の関係が存在するが、pとqとの間には何の関係も存在しないのである。

さて、ウィトゲンシュタインの確率は、これ迄のところは、真理根拠の個数に基く全く論理的なものであったが、『論理哲学論考』の引続く部分では、壷からの玉の抽出が次のように説かれている[53]： 壷中に白玉と黒玉とが丁度同じ個数だけ入っているとしよう。取出した玉はまた壷に戻すとして、回を重ねるに連れ、私は、取出された白玉と黒玉の数が次第に接近して来るのを確認出来る。従って、このことは数学的事実ではない。私が、白玉を取出すのと黒玉を取出すのとは等しく蓋然的である、と語るとすれば、それは、仮説として想定された自然法則をも含めて、私に知られた全ての状況は、一方の生起に対して、他方の生起に対するよりも多くの確率を与えない、というものである。即ち、全状況は各々に1／2の確率を与える。私が実験によって確証するのは、二つの出来事の生起が、私がそれ以上詳しく知らない状況から独立している、ということである。

そして、引続いて、次のように云われる：「確率命題の基本型は、…、私がそれ以上詳しくは知らない状況が、或る特定の出来事が生じることについてかくかくの度合の確率を与える、というものである。」[54]

先ず、問題として、ここで云われている確率―白玉や黒玉を取出す確率―と、前に云われた真理根拠の個数に基く確率とは、どう関係するのか、という疑問がある。両者が関係するとした場合、上記の例では、壷中の白玉と黒玉の個数が同じに設定されているからまだよいようなものの、仮に、白玉1に対して黒玉2の割合で壷に入っているようなケースで、白玉を取出す確率を真理根拠の個数の比で定めるとすれば、どのような命題群をベースにとればよいのだろうか、という疑問である。筆者としては、ここでの確率は、それ迄の真理根拠の個数の比として導入された確率をもっと一般化したものだと考えたい。そう考えた場合、壷中の白玉と黒玉の個数が同じときには、ウィトゲンシュタインの主張は、次のように整理されよう：

①取出された白玉、黒玉の数が接近して来るのは、経験的・統計的事実である。

②白玉と黒玉を取出す確率が等しいと云うとすれば、それは、そうした経験的なことではない。

③確率が等しいというのは、論理的関係が等しいということである。即ち、r を私に既知

の全状況を表す命題とし、s で白玉を取出すこと、t で黒玉を取出すことを表すとすれば、r の s に対する論理的関係と、r の t に対する論理的関係とが等しいということが、白玉を取出す確率と黒玉を取出す確率とが等しいということの意味である。そして、このことを、P (s | r) = P (t | r) = 1／2 で表す。この確率は、必ずしも真理根拠の個数の比として与えられるとは限らない。しかし、それは論理的な関係であり、経験的なものではない。
④実験で確証されるのは、白玉、黒玉の出現頻度が、私がそれ以上詳しくは知らないような状況には影響されていないということである。

このように論理的な確率であっても、経験と接点を持ち得るということを、ウィトゲンシュタインは云いたかったのだろう。論理的な確率を経験に結びつけるのは頻度の観察である。順序から云えば、確率は論理的な関係としてまず先にあり、その論理関係を後から検証するのが頻度による実験である。頻度が確率に近づくとすれば、そのことは、状況に私の知らない部分があったとしても、それは頻度に影響を与えていないということを示している。まさにそのことが実験によって確かめられたのである。逆に、もし、頻度が確率に近づかないようなら、それは、状況には未だ私の知らない部分があって、それが影響しているのである。

続けて、ウィトゲンシュタインは「確率命題は他の諸命題からのいわば抜粋である」[55]と云う。これの解釈として、確率命題「 P (s | r) =p 」 は、命題 r の真理根拠の集合と命題 s の真理根拠の集合との重なる部分を「抜き取って」成立するものである、とする解釈がある[56]。しかし、それでは「詳しくは知らない」云々のすぐ後に続く部分として、何故そのようなことが云われるのか理解出来ない。上記のように、確率を、真理根拠の個数の比としてではなく、もっと一般化した論理関係として考えれば、「抜粋」について次のような解釈が可能となろう。つまり、「骰子を投げたとき各面の出る確率は 1／6 である」という確率命題は、その骰子に関する諸々の命題のうちから、「骰子が対称的に作られている」ということだけを抜粋したものに他ならない、と。つまり、確率命題とは詳しくは知らないことを無視することで成立つような命題である。

『論理哲学論考』の確率に関する部分は以上で終っている。『哲学的考察』では、次のように云われる：「ゴルトン (Francis Galton) の写真は確率の像である。確率の法則は、人が目を細めてものを見る時の自然法則である。」[57]（ゴルトンは、沢山の人々の顔全てに共通する特徴を取出すために、同一の感光板上にそれらの顔を撮った。）これには二つの解釈が可能だろう。一つは、先の「抜粋」と同じことを云っているとする解釈である。つまり、感光板には「共通なもの」が抽出され、「詳しくは知らない」ことは「目を細める」ことによって無視される。もう一つは、大数の法則についてラプラスが云っているのと同じであり、多数の事象の観察によって規則性が立ち現れて来ることを云っているのだ、という解釈である。

いずれにしても、『哲学的考察』においては、確率は論理的なものではあっても、真理根拠の個数に基いて定義されるようなものではなく、物理法則・自然法則との関係に目が向けられる。それは、二つの乾草の束の間に置かれた驢馬（ビュリダンの驢馬）の喩えによって典型的に示されている[58]。同じ大きさの二つの束が驢馬から同じ距離に置かれてい

るということは、驢馬が立ち竦んだまま動かないことを説明はしても、驢馬が二つの束のいずれからもほぼ等しい頻度で食べることを説明するものではない。前者は論理的なことであり説明可能である（等しいが故に一方を優先して選ぶことは出来ない）が、後者を説明するには別の自然法則が必要である。骰子投げでも事情は同じである。即ち、各面の「確率」（論理的なものである）が等しいことはその対称性から云えるが、実際に何回も投げたときに、各面がほぼ等しい頻度で現れるだろうと予測するには、私が正確には知らない自然法則についての或る想定が必要である。そして、実験によって確証されるのはこの自然法則であって、確率計算ではない。

ケインズの論理説では無差別の原理をどう適用するかによって異る結果が出ることが問題にされた。それについて筆者の考えは既に述べておいたが、ウィトゲンシュタインも、異る結果が出るのは論理説そのものが悪いからではないとする。問題は、物理的条件が曖昧なままにされていることにある。例によって示そう（ウィトゲンシュタインの設定を多少変えてある）。

P　　　　　Q

A――――――C――B

図で、線分 AB 上に一つの光点が現れるとだけ情報を与えられたとしよう。「光点が区間 CB よりも区間 AC に現れることは、より確からしいか」という問には意味がない。光点が区間 AC に現れる確率の、区間 CB に現れる確率に対する比は AC／CB である、とはア・プリオリに云えることではない。光点が光源 P から発射される光線によって生じるのであれば、角 APC＞角 CPB であるから、論理説により、光点が AC に現れる確率は CB に現れる確率よりも大きいだろう。しかし、光源が Q の位置にあるのであれば、角 AQC＝角 CQB であるから、論理説により、光点が AC に現れる確率と CB に現れる確率とは等しい筈である。そして、実験（頻度の観察）によって確証されるのは、光源がどの位置にありそうかという物理的条件である[59]。

ウィトゲンシュタインは、『哲学的考察』の最後で、「二つの可能性が等しい確率を持つと定める、ということは一体何のことか」という問を立て、その答として、「これは、第一に、我々に知られた自然法則は二つの可能性のいずれをも優先させないこと、そして第二に、二つの事例における出来事の相対頻度が或る状況の下では互いに接近するということ、ではないのか」、と。第一の部分で述べているのは、無差別の原理に基く論理的な確率についてである。第二の部分では、何をもって無差別とするかはア・プリオリにではなく、それが置かれた物理的条件によって決まるのであるが、それが確証されるのは頻度の観察によってであるということが述べられている。

結局、ウィトゲンシュタインは、真理根拠の個数の比という極めて論理的な確率から出発したが、確率は論理的なものであるという基本線は変えないまま、それは頻度によって確証されるものだ、ということに落着いたのである。

## §7. 主観説

ケインズは、一組の命題の間にある確率（蓋然性）という論理関係は知覚可能だと云う：「我々は、二つの命題a、bの間の論理的関係を知覚する（perceive）ことで、aの知識からbについての知識へと移行する。この論理関係は直接に知られる。」「我々が論証によって何かを知るときには、それは結論と前提との間の或る論理関係を直接に知ること（direct acquaintance）によってでなければならない。」[60]

ラムジーのケインズに対する批判は、先ず、この点に向けられる：「…彼が記述しているような確率関係といったものは、本当に存在しているようには見えない…。彼が想定するところでは、…この関係は知覚可能だとされている。しかし、私自身について云えば、…私はそれを知覚しないし、それが存在すると納得するには議論による他はない。しかも、私以外の人々もそれを知覚してはいないのではないかと、疑わざるを得ない。何故なら、人々は二つの所与の命題の間にどの確率関係が成立っているかについて、殆ど何の合意に達することも出来ないからである。」[61]

ついで、確率とは合理的信念の度合だとされることに関し、ラムジーは、信念の度合はどのようにすれば計量可能かを問題にする[62]。先ず考えられるのは、確信の感情の強度をもって信念の度合とすることであるが、我々が最も強く保持している信念には屡々何の感情も伴わないことがあるから、これは否定され、かわって、その信念の持つ因果的性質が信念の度合だとされる。即ち、人がその信念に基いてどの程度まで行為する用意があるかということによってその人の信念の度合を計ることが可能だ、とする考え方である。それは、つまりは、その人に賭けを提案して、その人が受けるかどうかでその人の信念の度合を計ろうということに他ならない。1／3の確率は明らかに2対1の賭けに導くような種類の信念と関係を持っており、この関係はどんな行為にも適用可能な形に一般化出来る。ラムジーによれば、賭けに基いてなされるこうした議論はそれほど馬鹿げたものではない。我々は、或る意味では、生の全ての局面で賭けを行っている。我々が駅に向うときには、常に我々は、列車が順調に動いているということに賭けているのである。

ラムジーは、人が最終的に欲求する事物を「財（goods）」と呼び、それが計量可能であり、「加算的」であると仮定する。つまり、或る人が一時間の水泳を一時間の読書よりも好むとすると、彼は一時間の水泳と一時間の読書とを合わせたものよりも二時間の水泳の方を好むということである。こうした仮定を設けた上で、ラムジーは、人の行動は数学的期待値と呼ばれるものに支配されている、として、信念の度合の計量化を試みた。

同じ頃、ラムジーとは独立に、主観説を構築したもう一人の人物がデ・フィネッティである。以下、デ・フィネッティの定式化[63]に従って主観説の構造を見て行きたいが、先ず、ラプラスに至る確率論の歴史において、「確率」は「賭け率」と屡々同一視されていたことに注意しよう。例えば、ラプラスは確率の値を述べるとき、「この事象が生じるのは3に対する1の賭けである」というような云い方をよくしている。この場合、意味されているのは次のようなことである。即ち、或る人Aが事象Eの生起に賭けるとしよう。彼は、Eが生起する場合に得られる利益uと、それの対価としてそれが生起しない場合に蒙る損失$-v$とのバランスを考慮した上で、賭けに応ずるか否かを決めるだろう（u、v＞0とする）。彼が賭けに応じた場合の、vのu+vに対する比$p=v/(u+v)$が、Eの賭け率と呼ばれているものである。仮にEの生起の確率P（E）が何らかの方法で分っていたとすれば、この人

Aの数学的期待値は

$$P(E) \times u + (1 - P(E)) \times (-v)$$

である。従って、もしもP（E）＝p＝v／（u＋v）であったとすれば、この数学的期待値は零である：$(v/(u+v)) \times u + (1 - v/(u+v)) \times (-v) = uv/(u+v) - uv/(u+v) = 0$. 即ち、賭け率pとは、それを確率と考えた場合に数学的期待値をちょうど零にするような率に他ならない。

次に、Eの不生起を～Eで表そう。この人が、Eの生起に対し利益u、Eの不生起に対し損失－vで、Eの生起の賭けに応じたとすれば、それは損得のバランスのとれた賭けであるから、この人は、それとは逆の賭け、即ち、～Eの生起に対し利益v、～Eの不生起に対し損失－uという、～Eの賭けにも応じるだろう。従って、～Eの賭け率qは、

$$q = u/(v+u) = 1 - p$$

である。即ち、～Eの掛け率のEの掛け率に対する関係は、～Eの確率のEの確率に対する関係に等しい。

歴史的には賭け率とは以上のようなものであるが、デ・フィネッティは、これとは別に、次のような仕方で、賭け率p*を導入した。即ち、事象Eの生起に対するA氏の信念の度合をB氏が測定したいとする。先ずA氏がEの生起に関する賭け率p*を決めると、それを受けてB氏は賭け金Sを決める。B氏はp*に応じて、Sを正にも負にも決められる。A氏はB氏にp*Sを支払い、B氏はもしEが起ったらA氏にSを支払う。これらの条件の下で、p*がA氏のEに関する信念の度合の尺度とされる。

A氏　（① 掛け率p*を決める）　——→　p*S　　B氏　（② 賭け金Sを決める）
　　Eが起ったとき　　←——　S

Sが負の場合には、p*｜S｜がB氏からA氏へ支払われ、Eが起ったとき｜S｜がA氏からB氏へ支払われる。A氏がp*を決める際、B氏がSを正に選ぶか負に選ぶかをA氏は知らないことが重要である（A氏がp*を不当に小さく選べば、B氏はSを負に選ぶだろう）。また、掛け金Sは、その絶対値が、A氏が財政的に甚大な被害を受け過ぎない程度に少額で、他方、賭けに応じるかどうかを真剣に考える程度に多額でなければならない。

さて、この場合、A氏にとって、事象Eが生起すればS－p*Sの利益が得られ、Eが生起しなければ－p*Sの損失を蒙るから、前述の歴史的な意味でのEの賭け率pは、

$$p = p^*S / ((S - p^*S) + p^*S) = p^*$$

である。即ち、デ・フィネッティの導入した賭け率p*は、数値としては、歴史的な賭け率pと変わらない。そこで今後はp*をもpで表すことにする。

デ・フィネッティの功績は、この賭け率が実際に確率をなすことを証明したことにある。即ち、上記の賭け率は確率の公理を満たすのである。ただし、確率の公理の中で可算加法性は有限加法性に制限され、また、賭け率は次の「整合性（coherence）」の条件を満たしていなければならない：A氏が事象$E_1$、…、$E_n$に賭けるとき、A氏の賭け率$p_1$、…、$p_n$が整合的であるとは、B氏の利益が常に正になるようには、B氏が掛け金$S_1$、…、$S_n$を選べないことをいう。

そして、その場合、逆も云える。即ち、賭け率が確率の公理を満たすとすれば、その賭け率は整合的なのである。以上を整理して、

〔デ・フィネッティの定理〕賭け率が整合的であることと、賭け率が確率の公理（ただし

可算加法性のかわりに有限加法性）を満たすこととは、同値である。

加法性が有限加法性に制限された確率の公理は、次の形に書くことが出来る：

公理１．$0 \leqq P(E) \leqq 1$

公理２．$P(\Omega) = 1$

公理３．$E_1$、…、$E_n$ が互いに排反かつ悉尽ならば、$P(E_1) + \cdots + P(E_n) = 1$

以下、確率の公理はこの形のものとし、これと整合性とが同値であるというデ・フィネッティの定理の証明を示そう。

・先ず、事象Eに対するA氏の賭け率をpとし、B氏の賭け金をSとする。B氏の利益は、Eが起ったとき $G_1 = pS - S = (p-1)S$、　起らなかったとき　$G_2 = pS$　である。

（ｉ）整合性⇒公理１

A氏がpを＞１に選ぶならば、B氏はSを＞０に選ぶことによって、$G_1 > 0$、$G_2 > 0$、即ち、利益は常に＞０になる。また、A氏がpを＜０に選ぶならば、B氏はSを＜０に選ぶことによって、$G_1 > 0$、$G_2 > 0$となり、この場合にも利益は常に＞０である。従って、A氏は$0 \leqq p \leqq 1$に$p = P(E)$を選ばなければならない。

（ⅱ）公理１⇒整合性

A氏が$0 \leqq p \leqq 1$に$p = P(E)$を選べば、B氏はどんなSを選ぼうと利益が必ず＞０になるようには出来ない。何故なら、$S \geqq 0$に選んだとすれば$G_1 \leqq 0$になってしまうし、$S < 0$に選んだとすれば$G_2 \leqq 0$になってしまう。

・次に、必ず起きる事象Ωに対するA氏の賭け率をpとし、B氏の賭け金をSとすると、B氏の利益は　$G = pS - S = (p-1)S$　である。

（ｉ）整合性⇒公理２

A氏がpを＞１に選べば、B氏はSを＞０に選ぶことでGは＞０となり、また、A氏がpを＜１に選べば、B氏はSを＜０に選ぶことで$G > 0$となる。従って、A氏は$p = P(\Omega)$を１に選ばなければならない。

（ⅱ）公理２⇒整合性

$p = 1$だから、B氏がどのようにSを選ぼうと、$G = (p-1)S = 0$である。

・最後に、互いに排反で悉尽な事象$E_1$、…、$E_n$に対するA氏の賭け率を$p_1$、…、$p_n$とし、B氏の賭け金を$S_1$、…、$S_n$としよう。$E_i$が起った場合のB氏の利益は、$G_i = p_1S_1 + \cdots + p_nS_n - S_i$である。

（ｉ）整合性⇒公理３

A氏が$p_1 + \cdots + p_n > 1$に選ぶならば、B氏は$S_1 = \cdots = S_n = a > 0$　に選ぶことによって、$G_i = (p_1 + \cdots + p_n - 1)a > 0$、即ち利益は常に＞０となる。また、A氏が$p_1 + \cdots + p_n < 1$に選ぶならば、B氏は$S_1 = \cdots = S_n = b < 0$　に選ぶことによって、$G_i = (p_1 + \cdots + p_n - 1)b > 0$、即ちこの場合にも利益は常に＞０となる。従って、A氏は$P(E_1) + \cdots + P(E_n) = p_1 + \cdots + p_n$を１に選ばなければならない。

（ⅱ）公理３⇒整合性

仮定から$p_1 + \cdots + p_n = 1$である。$G_i = p_1S_1 + \cdots + p_nS_n - S_i$であるから、$p_1G_1 + \cdots + p_nG_n = p_1(p_1S_1 + \cdots + p_nS_n - S_1) + \cdots + p_n(p_1S_1 + \cdots + p_nS_n - S_n) = (p_1 + \cdots + p_n)(p_1S_1 + \cdots + p_nS_n) - (p_1S_1 + \cdots + p_nS_n) = 0$である。　ところが、$p_1$、…、$p_n$のうちの少くとも一つは＞０だから、もし$G_1$、…、$G_n$の全てが＞０であったとすれば、$p_1G_1 + \cdots + p_nG_n > 0$となってしまう。

従って、$G_1$、…、$G_n$のうち少くとも一つは≦０でなければならない。即ち、B氏の利益は常に＞０であることは出来ない。

以上で、確率の公理と整合性の条件とが同値であることが証明された。ちなみに上記の公理３は次の公理３′と同値である：
公理３′ E、Fが互いに排反ならば、P（E∪F）＝P（E）＋P（F）
　証明は次の通りである：
・公理３⇒公理３′：
　E∪F、～（E∪F）は排反かつ悉尽であるから、P（E∪F）＋P（～（E∪F））＝１。
またE、F、～（E∪F）は排反かつ悉尽であるから、P（E）＋P（F）＋P（～（E∪F））＝１。
従って、P（E∪F）＝１－P（～（E∪F））＝P（E）＋P（F）。
・公理３′⇒公理３：
　$E_1$、…、$E_n$が互いに排反のとき、数学的帰納法によって、P（$E_1 \cup \cdots \cup E_n$）＝P（$E_1$）＋…＋P（$E_n$）。$E_1$、…、$E_n$が悉尽ならば、この左辺は１である。

以上、ながながと算式で示したのは、「賭け」という或る意味で極めて個人的、主観的なものから、どうして確率の公理などという単純明快で客観的なものの導出が可能なのか、その仕組を示したかったからである。主観説によれば、確率とは信念の度合である。それは個人的なものであって、人によって様々に変わるが、同じ一人の人間の中では整合的である。そうでなければ、他人にその点をつかれて、損害を蒙るからである。

この点をもう少し詳しく見てみよう。確率の公理の実質的な内容は、加法性P（E∪F）＝P（E）＋P（F）にある。重なるところのない二つの図形の面積は、夫々の図形の面積の和に等しい。これは図形の面積の場合には自明のことである。しかし、なぜ確率についても同じことが云えるのか。二つの事象が排反だとして、どちらかが起こる確率は、夫々が起こる確率を足せばよい、とは何を根拠にそう云うのであろう。そもそも、「確率」を「足す」とは何を意味するのか。これに明確に答えたのがデ・フィネッティであり、ラムジーであったのである。賭けにおいて、相手に出し抜かれないようにするためには、整合性をもって賭けに臨む必要があり、そのためには賭け率に加法性を持たせなければならない。これが彼等の結論である。「加法性」とは「出し抜かれない」ための必要十分条件なのである。こうした洞察を生み出した点で彼等は画期的なのである。測度論としてのコルモゴロフの確率では、加法性は天下り的に公理として持込まれる。なぜ確率は足し合わされ得るのかは、数学としての確率論では問題とされず、答えられない。

なお、主観説では、確率は賭け率として導入されるから、確率の数値化に当って、とかく問題視されることの多い無差別の原理を必要としない。これも、主観説の特長の一つとして、特筆されるべきであろう。

さて、以上で、確率について、代表的な四つの説―傾向説、頻度説、論理説、主観説―を概観した。最初の二つの説は確率を客観的なものだとする。では、本当のところ、確率とは主観的なものなのか、客観的なものなのか。

これについては二つの考え方があろう。一つは、確率の概念には二種類以上あるとする

ものであり、他の一つは、全ての確率は主観的であり、一見客観的な確率も主観的信念の度合で説明出来るとするものである。

第一の考え方は、四つの説をそのまま認めようというもので、要は、コルモゴロフの公理を満たすものが確率であり、それの解釈としては各種あり得るというものである。ただし、加法性については、傾向説を除いては、有限加法性しか成立しない。

第二の考え方は、デ・フィネッティの主張するものである。ここで彼の云うところを追って見よう[64]。

先ず、偏りがあるとだけ分っている硬貨について、客観主義者は、表の出る確率pが存在し、n回投げて見ることで、表の出た回数kから、$p \fallingdotseq k/n$としてpの近似が得られると云う。つまり、投げる回数を大きくすれば、実際に観察される頻度が、客観的に存在するpの確かな評価を与える、と。一方、主観主義者によれば、表が出るという客観的な確率pなるものは存在せず、あるのはただ主観的な賭け率のみである。その賭け率—事前確率—は人によって様々に異るだろうが、「ベイズの定理」によって、事後確率は実際に観察される頻度に収束する。このことを、客観主義者は誤って、客観的な確率の存在が示されていると考えるのである。しかし、「客観的確率」とは意味のない形而上学的概念であり、実際に起っていることはと云えば、証拠に照らして諸個人が主観的確率について合意に達するということだけである。

デ・フィネッティは、主観的な賭け率が現実に観察される頻度に収束することを、実際に証明して見せたのであるが、それには、「可換性（exchangeability）」の条件が必要とされる。これは、或る事象がn回の試行中k回生起するという信念の度合は、nとkとにだけ関係し、その事象がn回の試行中のどこで生起するかには関係しないというものである。また、ここで使われるベイズの定理とは、条件付賭け率$P(E|F)$について、

$$P(E|F) = P(E\&F) / P(F)$$

が成立つことを云う。ここに、$P(E\&F)$、$P(F)$は前に定義した賭け率であり、$P(E|F)$は、Fが生起しなければ賭け代が戻ることを条件にA氏がEに付与する賭け率である：

| | | | |
|---|---|---|---|
| A氏（① $P(E\|F)$ を決める） | ⟶ | $P(E\|F)\,S$ | B氏（② Sを決める） |
| F：生起、　E：生起 | ⟵ | S | |
| F：生起、　E：不生起 | 0 | | |
| F：不生起 | ⟵ | $P(E\|F)\,S$ | （賭け代がA氏に戻る） |

この場合にも、前に示したのと同様な仕方で、A氏の賭けが整合的ならば $P(E|F) = P(E\&F)/P(F)$ であり、その逆も成立つことが証明出来るのであるが、ここでは省略する。コルモゴロフの測度論に基く確率論では、この等式は条件付確率の定義を与えるものとして、天下り的に導入されるが、主観説では、整合性から導かれるのである。

以上を準備として、主観的な賭け率が、ベイズの条件付けによって、客観的な頻度に収束することを示そう。

硬貨投げで、n回目迄の表、裏の特定の系列eにおいて表はk回であったとする。また、n+1回目に表が出ることを$H_{n+1}$で表す。目的は、nが大なるとき$P(H_{n+1}|e)$がk/nに近づくこと、即ち、事前の賭け率$P(H_{n+1})$が何であろうと、事後の条件付賭け率$P(H_{n+1}|e)$は実際に観察される頻度に収束すること、を示すことにある。

$\omega(n, k)$を、最初のn回において表がk回出るということに対するA氏の賭け率とする。

表の出方は全部で${}_{n}C_{k}$通りあるが、可換性の条件はこれら全てに同じ賭け率を割り当てる。そして、eはn回中k回の表が特定の場所で生起したものであるから、P（e）＝ω（n、k）／${}_{n}C_{k}$である。同様に、$e\&H_{n+1}$は、最初の（n＋1）回中（k＋1）回の表が特定の場所で生起したものであるから、P（$e\&H_{n+1}$）＝ω（n+1、k+1）／${}_{n+1}C_{k+1}$である。そうすると、ベイズの定理から、

$$P(H_{n+1} | e) = P(e\&H_{n+1}) / P(e)$$
$$= (\omega(n+1, k+1) / {}_{n+1}C_{k+1}) / (\omega(n, k) / {}_{n}C_{k})$$
$$= ({}_{n}C_{k} / {}_{n+1}C_{k+1}) \times (\omega(n+1, k+1) / \omega(n, k))$$
$$= ((k+1) / (n+1)) \times (\omega(n+1, k+1) / \omega(n, k))$$

ところが、n→∞のときには、A氏の信念として、ω（n+1、k+1）／ω（n、k）→1であろうから、結局、事前の賭け率ω（n、k）が何であれ、事後の条件付賭け率P（$H_{n+1}$｜e）は頻度k／nに近づく。（nが大きいとき、（k+1）／（n+1）はk／nに近い。）

以上において、表の出る「確率」pの存在は全く仮定されていないことに注意しよう。もしもpの存在を仮定し、P（・）を賭け率ではなく測度論に基いた確率であるとするならば、上で証明したことは、P（$H_{n+1}$｜e）＝P（$e\&H_{n+1}$）／P（e）＝$p^{k+1}(1-p)^{n-k} / p^{k}(1-p)^{n-k} = p$ というだけのことである。

こうして、表の出る客観的な確率の存在を仮定せずに、P（$H_{n+1}$｜e）→k／n　が証明された。上記の証明は、経験から学ぶことがどうして可能なのか、その仕組を鮮やかに示している。主観説は、このようにベイズの定理を使うことで、経験から学ぶことが出来ることを主張するので、ベイズ主義と呼ばれることもある。主観説によれば、客観的確率とは、「深い心理的な理由によって様々な個人の意見の間に確かな合意が齎されること」によって抱かれる幻想に過ぎない。

ところで、硬貨をn回投げると表の出る回数は0、1、・・、nであるから、

$$\omega(n, 0) + \omega(n, 1) + \cdots + \omega(n, n) = 1$$

であるが、これに「無差別の原理」を適用すると、

$$\omega(n, 0) = \omega(n, 1) = \cdots = \omega(n, n) = 1 / (n+1)$$

となり、

$$P(H_{n+1} | e) = ((k+1) / (n+1)) \times (\omega(n+1, k+1) / \omega(n, k))$$
$$= (k+1) / (n+2)$$

が得られる。さらに、k=nとすると、P（$H_{n+1}$｜e）＝（n+1）／（n+2）となる。これは、n回目迄ずっと表だったとすると、次も表が出ることに対する賭け率は（n+1）／（n+2）であることを示している。これがラプラスの「継起の規則」である。ラプラスは、『確率の哲学的試論』で、過去5000年間毎朝太陽が昇ったことを根拠に、明日の朝も太陽が昇ることについて、1に対する1,826,214の賭けが可能なことを示している[65]。即ち、5000年は1,826,213日であるから、n=1,826,213と置いて、明日も太陽が昇る賭け率は1,826,214／1,826,215=0.9999995である。

さて、以上のような主観説に対してはどのような問題があるのだろうか。

先ず、上記の太陽の例について、ポパーは次のような批判を行ったという[66]。即ち、過去5000年間、毎朝、太陽が昇って来たが、或る朝、異変が起り、太陽が昇らなかったとし

ょう。その場合に、その翌朝、再び太陽が昇る賭け率は、P $(H_{n+1} | e) = (k+1) / (n+2)$ において、n=1,826,214、k=1,826,213と置いて、0.9999989である。これは、このような極めて異常な出来事が起ったにも拘らず、その翌朝再び太陽が昇る賭け率は僅か0.0000006（=0.9999995−0.9999989）しか減少しないことを示している。

何故このようなことになるのだろうか。それは可換性に問題があるのである。可換性の原理は、事象の生起の順序に関係なく、相対頻度だけで賭け率を定め得るとするが、それは各回の試行が独立でなければ云えないことである。独立でなければ、次に何が生起するかは、今迄どういう結果が出たかに影響を受けるだろう。太陽が毎朝昇るか昇らないかは互いに独立な事象だとは決して云えない筈である。独立でなければ、可換性は使えない。

主観説は、客観説が独立性の概念を使うところで、可換性の概念を使う。事象E、Fが独立であるとはP（E&F）=P（E）P（F）が成立つことをいう。主観説においては、この独立性の下では経験から学ぶことは無くなる。実際、独立性を仮定すれば、$P(H_{n+1}\&e) = P(H_{n+1}) P(e)$ であるから、$P(H_{n+1} | e) = P(H_{n+1}\&e) / P(e) = P(H_{n+1})$ となり、経験eからの学習が起らない。それで、デ・フィネッティは、独立性にかえて、可換性の概念を導入したのである。

状況が独立でない場合には可換性が使用出来ない典型的な例として、「青 - 赤ゲーム」がある。硬貨投げで表が出れば帳簿に１と記入し、裏が出れば－１と記入する。各回の投げの後で帳簿上の数字の合計sが≧０であれば「青」、＜０であれば「赤」と呼ぶことにしよう。もとの表、裏の系列は独立であるが、それから導かれる青、赤の系列は独立ではない。青と赤の設定は対称的だから、青、赤の頻度の極限値は夫々1／2だと思われるかも知れないが、青、赤の系列は独立ではないので、一方の色が他方の色よりずっと多く出やすいということが起る。フェラー（William Feller、1906-70）の計算によれば、１秒に一回ずつ１年間硬貨投げを続けるとして、沢山出る方の色が全体の時間の73%以上を占めるという確率は70%である[67]。（例えば「青」の状態においては、数字の合計sは或る正の数値の上下を小刻みに変動するだけで、なかなか負に転ずる（「赤」になる）には至らない。）

さて、青が700回続いた後、赤が２回続いたとしよう。主観説では、可換性と無差別の原理とによって得られる公式 $P(Hn+1 | e) = (k+1) / (n+2)$ を使い、n=702、k=700 と置いて、次が青である確率として （700+1）／（702+2）=0.996 を得るだろう。しかし、700回目が青で、701回目が赤なのは、700回目で s が 0、701回目で裏が出てs が −1 になる場合だけである。702回目では裏が出た筈である（そうでなければ、再び青）。そうすると702回目を終えた時点で s=−2 であり、従って次に青になる確率は 0 である。このように、独立でない場合に可換性の原理を使えば、全く誤った結果に導かれる。

## §8. あらためて確率とは

以上は、確率について四つの説―傾向説、頻度説、論理説、主観説―が存在することをどう考えるかについて、二番目の考え方であるデ・フィネッティの主張を追って来た結果である。主観的な賭け率―事前確率―は、人によって様々に異るであろうが、ベイズの定理によって、事後確率は実際に観察される頻度に収束する。そのことが、客観的な確率が存在すると思わせているのであり、本当のところは、そのようなものは存在しない。これが彼の主張であったが、これを推し進めて行くと、「太陽の再上昇」や「青－赤ゲーム」

のように全くおかしな結果が出てしまう。これが前節末の結論であった。それで、四つの説があることをどう考えるかについて、一番目の考え方を採らざるを得ないだろう。これは、四つの説をそのまま認めようというもので、要は、コルモゴロフの公理を満たすものが確率なのであり、それの解釈として各種あり得るというものである。

ところで、前にも述べたように、コルモゴロフの公理とは煎じ詰めれば加法性ということであり、加法性とは測度に固有の性質であるから、結局、確率とは全体が１であるような測度のことだということになる。全体が「多」に分割されるところに、確率という概念が成立つのである。つまり、全体の１が、「多」を構成している夫々にどう配分されるかを示すのが確率である。そして、九鬼によれば、「多」であることこそが根源的な偶然（離接的偶然）なのであった。このように考えれば、偶然と確率とは結びつき合うことになる。即ち、偶然である「多」に、全体の１がどのように配分されるかを示すのが確率である。自然的偶然の場合について云えば、「多」に対して原因がどう分布しているかに応じて確率が定まる。骰子の六つの面に対して原因が均等に分布していれば、夫々の面の出る確率はどれも1／6である。原因が歪んで分布していれば、それに応じて各面の出る確率は異る。

１．Borel,E.(1950) 邦訳 21-2 頁。

２．von Mises,R.(1928) p.11.

３．Laplace,P.S.(1814) 邦訳 13 頁。下線は筆者による（以下同じ）。

４．同 74 頁。

５．同 74 頁。

６．同 74－5 頁。

７．同 75 頁。

８．同 70 頁。

９．Keynes,J.M.(1921)pp.41-2. なお、三つの例については pp.43 - 48.

10. Levy,P.(1970) 邦訳 219-20 頁。

11. 同 198 頁。

12. 同 200 頁。

13. Peirce,c.s.(1910) pp.79-80.

14. Popper,K.R.(1982 a)　邦訳 128-137 頁。

15. Popper,K.R. (1990) 邦訳 16－29 頁。

16. Kolmogoroff,A.N. (1933) 邦訳 4 頁。

17. Popper,K.R.(1983)　邦訳 225 頁。

18. Popper,K.R.(1983) 邦訳 198 頁。

19. Popper,K.R.(1982 b) 邦訳 200 - 1 頁。

20. 同書の訳者による解説による（350－1 頁）。

21. Popper,K.R.(1982 b) 邦訳 102 頁。

22. Popper,K.R. (1990) 邦訳 35 頁。

23. Gillies,D.(2000) 邦訳 210-1 頁。

24. 同 216-8 頁。

25. 同 211-3 頁。

26. Von Mises, R. (1928) p. 9（戦争の確率）および p. 17（死亡の確率）.

27. Ibid., p. 18.

28. ibid., p. 1.

29. ibid., p. 15.

30. Cramér, H. (1946) p. 150.

31. Gillies, D. (2000) 邦訳 165 頁。

32. Von Mises, R. (1928) p. 84.

33. ibid., p. 85.

34. Gillies, D. (2000) 邦訳 168-9 頁。

35. Borel, E. (1938) 邦訳 158 頁。

36. Levy, P. (1970) 邦訳 223 頁。

37. Borel, E. (1938) 邦訳 158 頁。

38. Von Mises, R. (1928) p. 25.

39. Popper, K. R. (1983) 邦訳 201-3 頁。

40. 同 187－192 頁。

41. Keynes, J. M. (1921) p. 52.

42. ibid., p. 4.

43. ibid., p. 4.

44. ibid., p. 7.

45. ibid., p. 42.

46. ibid., p. 60.

47. ibid., p. 62.

48. 以下、硬貨投げ、ベイズの選択、粒子の統計については、Gillies, D. (2000) 邦訳 74 - 7 頁を参考にした。

49. Keynes, J. M. (1921) によれば、$a_1/h$ と $a_2/h$ とが独立であるとは、$a_1/a_2h = a_1/h$ かつ $a_2/a_1h = a_2/h$ が成立つことである (p. 120)。即ち、独立な場合には、$a_2$ の知識が加わっても $a_1$ に対する信念の度合は変わらず、また、$a_1$ の知識が加わっても $a_2$ に対する信念の度合は変わらない。

50. Wittgenstein, L. (1922) 5. 15.

51. ibid., 5. 153.

52. ibid., 5. 152. なお、次の段落とさらに次の段落についても同じである。

53. ibid., 5. 154.

54. ibid., 5. 155.

55. ibid., 5. 156.

56. 末木剛博（1976）による 5. 156 の解説（325 頁）。なお、同書は、5. 154 の白玉や黒玉の出現確率も真理根拠の個数の比で定義されるとしている（322 頁）。

57. Wittgenstein, L. (1964) 235.

58. ibid., 233.

59. ibid., 238. なお、次の段落についても同じである。

60. Keynes, J. M. (1921) pp. 13-4.

61. Ramsey, F. P. (1926) 邦訳 82 頁。

62. 同 88-113 頁。

63. 信念の度合を測定するものとしての賭け率は De Finetti, B. (1930) において導入されたが、ここでは、主として Gillies, D. (2000)の記述（第４章）をもとに整理した。

64. 可換性を使った理論の展開は De Finetti, B. (1937)においてなされたが、ここでは、主として Gillies, D. (2000)の記述（第４章）をもとに整理した。

65. Laplace, P. S. (1814) 邦訳 36 頁。

66. Gillies, D. (2000) 邦訳 121 頁。

67. Feller, W. (1950) 邦訳 117 頁。

## 第5章　秩序と混沌

小さな原因が大きな結果を引起したり、原因が極めて複雑な場合に、我々はそうした現象を偶然だと見做す―これがポアンカレの偶然観であった。これだけでは、ポアンカレは、全ての現象は原因 - 結果の関係によって決定されると考えていたようにも思われよう。しかし、太陽系の安定性に始めて疑問を抱いたのはポアンカレである。閉じた系は、系の外から揺らぎが入って来ない限りは安定しているというのがそれ迄の考え方であった。ポアンカレは、太陽系のニュートン力学モデルに、実は、軌道を吹き飛ばすような爆弾が仕掛けられているかも知れないと気づいた。つまり、十分長い年月の後には系内の惑星同士の微弱な重力の効果が積み重なって軌道の不安定化の条件が整い、太陽系の秩序が完全に破壊されて仕舞う日が来ないとは限らない、ということである。

これについてのポアンカレの研究は、相対性理論や量子力学の発見の影に隠れて、長らく忘れられていたが、1960年代になって、非線形性、フィードバック、非平衡など新分野の研究とともに掘起こされることとなった。こうした新しい見方によれば、規則的な秩序の間にカオス的な無秩序が入り込んでいる状態こそが現実に起っている状態なのである。この世界は完全な秩序の世界でも完全な無秩序の世界でもなく、そこでは秩序と無秩序とが背中を接して並んでいる。

そうした有様を具体的に見て行こうというのが本章の目的である。次章ではそうした現象の背後にある原理を探る。

### §1. 分岐とカオス

#### (1)アトラクター

一般に、複雑な現象を示す系は「非線形システム」と呼ばれる。それは、まっすぐな線や単純な比例関係では捉えきれないシステムであり、つまりは、何らかの形でフィードバック効果が働いているシステムのことである。自己組織化と呼ばれるような、システムが自らを組織化して行く現象は、構成要素同士が強く関係し合う非線形システムにおいてこそ生じる。非線形システムを動かしているのは運動法則であるが、運動法則と云っても、ニュートン力学のような物体の運動を支配する法則ではない。非線形システムを支配する運動法則とは、「状態空間」と呼ばれる抽象的な空間の中の点（「状態点」）の運動を支配している法則のことである。このように一般化された運動は「時間発展」とも呼ばれる。

例えば、A、B、C、Dという四種類の化学物質の絡む化学反応では、これらの物質の量は刻々と変化するが、これら四つの量を座標とする４次元空間がこの場合の状態空間である。そして、四種の物質の量が時間とともに変化する様子は、この空間中の点の運動―時間発展―で表すことが出来る。反応式や反応速度が分っていれば、この状態点の「運動法則」が分ることになる。

また、通常の３次元空間中を運動する一個の粒子について云えば、その状態は、位置と速度とによって決定されるが、夫々三つの座標が必要なので、この場合の状態空間は６次元状態空間ということになる。同様に、N個の粒子の運動を記述するためには、６N次元の状態空間が必要である。この場合、通常の３次元空間における、N個の粒子の描くN本の

軌道のかわりに、６N 次元状態空間における一本の曲線で N 個全体の粒子の運動の状態が表されるわけである。

状態空間での状態点の運動の模様を、振子を例に、具体的に見てみよう。振子は、一番大きく左に振れた状態 A から右に振れ始め、一番下の状態 B を右向きの最高速度で通過し、一番大きく右に振れた状態 C で速度は零となり、今度は左向きに振れ始め、一番下の状態 D を左向きの最高速度で通過し、再び一番左に振れた状態に戻るとしよう。状態空間として、中心（振子が一番下にある状態）からの距離を x 座標に、速度を y 座標にとる。A、C は速度が零だから x 軸上にあり、A は負の側に、C は正の側にプロットされる。また、B、D は中心からの距離が零だから y 軸上にあり、B は正の側に、D は負の側にプロットされる。結局、A→B→C→D→…という実際の振子の運動は、状態空間内の円状の曲線 ABCD…に写されることになる。この場合、空気抵抗や摩擦により、D の後、完全に A に戻るわけではなく、それより少し内側の A′ を通ることになる。

さて、状態空間の各点でそこを通過する状態点の速度が決っており、それが一般的な数式で与えられているような系を「力学系」と呼ぶ。系の時間発展を表すこの方程式は「発展方程式」と呼ばれ、通常は微分方程式の形で与えられる。この力学系の概念は、ニュートン力学のような現実の３次元空間での物体の運動を支配する力学系よりも遥かに広い概念である。

さて、本題に入り、秩序と混沌とをアトラクターとの関係から見て行くことにしよう。「アトラクター」（引きつけるもの）とは、状態空間における状態点の軌道が最終的に落ち込む（吸い寄せられる）状態のことであり、力学系の全体的な振舞は、大抵そこにあるアトラクターの数と性質とによって決まってしまう。アトラクターには大きく三つのタイプがある。最も単純なのが固定点であり、「固定点アトラクター」と呼ばれる。次に単純なのが、或る軌道が周期的な仕方で繰返されるというものである。これは軌道の落着く先が閉じたループをなすということであり、「リミット・サイクルのアトラクター」と呼ばれる。三つ目は、「ストレンジ・アトラクター」あるいは「カオス・アトラクター」と呼ばれるもので、軌道は閉じず、多くの周期軌道と非周期軌道とが絡まり合い極めて複雑な動きを示す。安定した系の場合には軌道から少し逸らされてもすぐに元の軌道に引き戻されるが、ストレンジ・アトラクターを有するような系の場合には元の軌道へ引き戻されるのではなく、別のアトラクターへ追いやられてしまう。

上で見たように、振子の左右の揺れは、状態空間では円状の曲線で表されるが、空気抵抗や摩擦があるので、振子の運動エネルギーは散逸し、振子はやがて静止する。それは、状態空間においては、円といっても完全な円ではなく、渦巻きであり、その渦巻きが次第に中心に向って収斂して行くことを意味する。この中心点が固定点アトラクターであり、最終的に、振子はエネルギーを散逸しきって平衡に達する。

一方、ハト時計のような錘のついた振子時計の場合でも、振子の運動エネルギーは空気抵抗や摩擦によって散逸する。しかしそれは錘の位置エネルギーの減少分によって補われ、振子は減衰せずに振れ続く。状態空間では閉じた円を描くわけで、これがリミット・サイクルである。

ストレンジ・アトラクターとしては、気象学者ローレンツ（Edward Lorenz）の熱対流モデル（1963 年）が有名である。これについては、項をあらためて述べることにして、今

迄のところで、二点ばかり補足しておきたい。

一つは、上の二つの例からも分るように、アトラクターにはエネルギーの散逸が関係しているということである。エントロピーについては第6章で詳述するが、エネルギーを散逸し、エントロピーを生成するような非平衡開放系は「散逸力学系」と呼ばれる。アトラクターが見られるのはこの散逸力学系においてである。散逸力学系では、状態空間内の「細胞」の体積は時間の経過とともにゼロになる。（一般に、状態空間中の球や立方体のように体積を有するもののことを細胞と呼ぶ。その形状は何でもよい。）最終的に落着くこの体積ゼロの状態が、即ちアトラクターである。最初の細胞内の多数の初期点の全てがこの体積ゼロの状態に向って収束して行く。これが、アトラクターに引き寄せられ、そこに落着くということの意味である。固定点アトラクターは、点であるから、勿論、体積ゼロであるが、リミット・サイクルやストレンジ・アトラクターも、太さのない線だから、体積はゼロである。

補足の二点目として、リミット・サイクルは、生物界においても類似の現象が見られるということである。例えば、食うものと食われるものの系がそれである。最初は、カワカマスはマスを食べて成長し、数が増える。そうすると、マスの数が減少し、それを追ってカワカマスの数も減る。それで今度はマスが増え始め、それを追うようにカワカマスも増加する…。マスの個体数を x 軸とし、カワカマスの個体数を y 軸とする状態空間に両者の個体数の動きをプロットすると、リミット・サイクルの現れることが見て取れる。食うものと食われるものとの系は、一匹一匹が独立に行動する生き物が沢山集って出来た系であるから、単純な振子の系に比べて遥かに複雑であるが、それにも拘らず、系全体が安定な秩序を形成するのである。

### (2)ストレンジ・アトラクターと分岐

さて、第三のタイプのストレンジ・アトラクターであるが、これこそが系を複雑極まりない不規則な振舞に陥れる元凶である。しかし、それは決して珍しいものではなく、例えば、日常でなじみ深い「乱流」現象の中にも見られる。乱流では、或る一部分の運動が他の部分の運動に影響を与え、その部分がさらに他の部分を支配するといった具合に、沢山の部分が互いにフィードバックによって結びついている。秩序から乱流が生まれ、ストレンジ・アトラクターが出現する現象は、体系全体が互いに深く結びつくことによって起る現象の一つである。また、乱流の本質は、渦がより小さな渦に分裂して行くことにあると考えることも出来る。無限に続く渦の分裂という観点に立てば、乱流は、大きなスケールでも小さなスケールでも同じように見える筈である。これは「自己相似性」ということであり、「フラクタル」を特徴づける性質の一つである。フラクタルについては項を改めて述べる。

さて、先に予告したローレンツの熱対流モデルの発展方程式は、次の通りである：

$$\dot{X}=-\sigma X+\sigma Y、\dot{Y}=-XZ+rX-Y、\dot{Z}=XY-bZ$$

$\dot{X}$、$\dot{Y}$、$\dot{Z}$は、3次元の状態空間中の一点（X、Y、Z）を通過する状態点の速度の三つの成分を表す。このように、発展方程式は算式で明確に与えられているにも拘らず、ここからカオスが出現するのである。何故そういうことが起るのか、その機構の一端を見てみよう

というのが以下の趣旨である。

方程式中には三つのパラメタσ、r、bがあるが、σとbとは固定し、r（上面と下面の間の温度差に相当）を変化させる。rが十分に小さいと、どの状態点から出発しても、最後は全て状態空間の原点に落込む。これは対流のない静止した状態—「伝導状態」—に対応している。rを大きくして行くと、「分岐」が起って、新しい定常点が出現する。これは定常な流れを持つ「対流状態」を表す。流れの向きを逆転させた状態も同じ資格を持つ定常解なので、定常点は二つあり、原点に関して対称な位置にある。どちらに落着くかは、どの状態点から出発するかによる。さらにrを上げて行くと、この二つの定常状態は同時に不安定化し、ローレンス・カオスと呼ばれる複雑な運動—「乱流」—が突如として現れる。この運動の模様は、カオスを論じる書物によく出て来る図でおなじみのものである。状態空間中の軌道は、二つの目玉を持ったストレンジ・アトラクターとなる。軌道は、一つの目玉の周りを何周かし、もう一方の目玉に乗り移り、そこで何周かする。軌道は二つの目玉の間を不規則に渡り歩く。これは、初期状態がどうであれ、時間が経てばそれに限りなく接近するアトラクターとしての運動状態である。

ローレンツがこのモデルを提示したのは、なぜ気象の長期予測が困難なのかを示して見せるというのが目的であった。このモデルは僅か三つの変数しか含まない。そのように極端に単純化されたモデルであったが故に、このモデルはカオスという普遍的な現象を明確に取り出すことに成功したのである。このモデルによって、予測が困難なのは、十分な初期データを持っていないからではなく、現象の時間発展自体が不安定だからだということが明らかにされた。

このモデルに限らず、一般に、散逸力学系では、その発展方程式中のパラメタの値を連続的に変化させたとき、系の振舞が突如変化することがある。この現象を「分岐」と呼ぶ。分岐では、或る状態が不安定化して、別の状態に突然変化する。これは、一つのアトラクターがアトラクターでなくなり、新しいアトラクターに状態が移行することを意味している。分岐は一度だけでなく何度も起り得る。「分岐」という言葉は、方程式の新しい解が古い解から枝分れして現れるというところから来ている。パラメタの値の変化を一本の直線で表示すると、その上に幾つかの分岐点—そこで分岐の生じる点—が現れる。隣合った分岐点で挟まれた区間では構造が安定している。

さて、ローレンツのストレンジ・アトラクターに戻り、三つの変数X、Y、ZのうちZの動きを追って見よう。Zは不規則に波打ちながら、次々にピーク（極大値）$Z_1$、$Z_2$、$Z_3$、…を迎える。そこで、平面上に点（$Z_1$、$Z_2$）、（$Z_2$、$Z_3$）、（$Z_3$、$Z_4$）、…、（$Z_n$、$Z_{n+1}$）、…をプロットして行くと、頂点が鋭く尖った山形の曲線が出現する。カオスの中にきれいな規則性が潜んでいたのである。曲線の勾配が急（±45度以上）だということは、$Z_n$の値に小さな不確定性ないし誤差があると、それが拡大されて$Z_{n+1}$の値に反映されるということである。それで、数列$Z_1$、$Z_2$、$Z_3$、…はどこ迄行ってももとの価に戻るということはあり得ない（もとの値に戻るとすれば、誤差が拡大する一方だということは起らない）。これは、第1章で見た、次々に横方向に2倍に引き伸ばされて行くパイ捏ね変換と同様なことが生じているのである。$Z_n$がもとの値に戻ることがないということは、（X、Y、Z）そのものの軌道が非周期的であることを意味する。非周期的であると云っても、軌道は或る一定の領域に閉じ込められているのではあるが。

以上を要約すれば、小さな不確定性ないし誤差が時間の経過とともに拡大されて行くことがカオス軌道の不安定性の原因になっているということである。接近した二つの軌道は、不安定性によって互いに離反して行くが、或る程度離れてしまうと、今度は突然接近することがあるので、軌道は全体としては一定の範囲に閉じ込められているのである。

### (3)周期倍化分岐

ところで、上記において、$Z_1$、$Z_2$、$Z_3$、…は無限の系列をなすが、これ自体を一つの軌道と見做せば、それも一つの力学系をなす。このような力学系を離散力学系と呼ぶ。カオスが出現するような離散力学系として有名なのが、物理学から数理生態学に転向したメイ（Robert May）の見つけた、$x_{n+1} = ax_n(1-x_n)$ という方程式によって与えられるモデル（1976年）である。この単純極まりない方程式が思いもよらない複雑な挙動を生み出すのである。

この方程式は、蛾の個体数の時間発展を表すものと解釈出来る。ただし個体数は、その上限の個体数で割ることで規格化されている（$0 \leqq x \leqq 1$）。a は出生率である。方程式の意味するところは、次世代の蛾の個体数 $x_{n+1}$ は、現在の蛾の個体数 $x_n$ に比例するとともに、現在未だどれだけの余裕が残っているか、その度合（$1-x_n$）にも比例するということである。これは、電卓を使って簡単に計算出来る。幾つかの a について、$x_0=0.1$ から出発した計算結果を以下に示す：

| a | $x_0$ | $x_1$ | $x_2$ | $x_3$ | $x_4$ | $x_5$ | $x_6$ | $x_7$ | $x_8$ | $x_9$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1.5 | 0.1 | 0.135 | 0.1752 | 0.2167 | 0.2546 | 0.2847 | 0.3055 | 0.3182 | 0.3254 | 0.3293 |
| 2.5 | 0.1 | 0.225 | 0.4359 | 0.6147 | 0.5921 | 0.6038 | 0.5981 | 0.6010 | 0.5995 | 0.6002 |
| 3.4 | 0.1 | 0.306 | 0.7220 | 0.6824 | 0.7369 | 0.6592 | 0.7639 | 0.6133 | 0.8064 | 0.5309 |
| 4.0 | 0.1 | 0.360 | 0.9216 | 0.2890 | 0.8219 | 0.5855 | 0.9708 | 0.1134 | 0.4022 | 0.9617 |

a=1.5 の場合には、個体数は 1／3 に漸近し、その状態がアトラクターとなる。a=2.5 の場合には、個体数は上下に振動しながらアトラクター0.60 に近づいて行く。a=3.4 ではアトラクターは二つに分かれてしまい、一方は 0.80 より大きく、他方は 0.53 より小さいことが読み取れる。更に、a=4.0 では個体数は全くランダムな動きをしている。

a をもっと小刻みに大きくして行けば分ることであるが、a が或る値より小さい間は個体数は一定値（一個のアトラクター）に落着く。a がこの値に達すると状態は不安定化して、二世代を周期とする振動状態（二個のアトラクター）に分岐し、引続き a を大きくして行くと、四、八、一六世代というように周期が逐次倍化する振動状態（夫々四、八、一六、…個のアトラクター）に次々と分岐する。そして、a=3.56999 に達すると、無限に長い周期の振動が現れてカオスに至る（無限個のアトラクター）。分岐の生じる a の値の一連の系列は、幾何数列的にその間隔を狭めるので、一点に集積する。その集積点が周期無限大に対応するのである。周期が無限大になるということは、百年、二百年と蛾の個体数のデータを取続けたとしても、翌年の個体数は予測出来ないことを意味する。

a が 3.56999 以上では全てカオスの領域（無限個のアトラクター）かというと、そうではない。a の値を横軸に、それに対応するアトラクターを縦軸方向にプロットすれば、点によって埋め尽くされる黒い領域が現れるが、それがカオスの領域であり、「周期倍化分岐

によるカオス」と呼ばれる。このカオスの中には、全く予想も出来なかったような秩序構造が幾つか潜んでいることが分った。その一つとして、「窓」がある。それは、黒いカオスの領域の中にぽっかりと空いた縦方向の領域で、例えばa=3.8のあたりに見られる。ここでは、系は安定し（三周期運動）、再び個体数の変動の予測が可能となる。このように、窓は、カオスの領域の中から突如現れる秩序であるが、そのカオスはと云えば、それは完全な秩序の中から立ち現れたのであった。$x_{n+1} = ax_n(1-x_n)$ のような単純極まりない方程式の奥に、そのように複雑な構造が潜んでいるとは殆ど信じ難いことである。

以上は特定の方程式 $x_{n+1} = ax_n(1-x_n)$ についてであったが、周期倍化分岐の起るような現象ならば同様のことが普遍的に成立することをファイゲンバウム（Mitchell Feigenbaum）は明らかにした。さらに、彼は、周期倍化分岐が起るパラメターの値の間隔の比が普遍的な定数（ファイゲンバウム数）に収束することを示した。

こうした方程式に特徴的なのは「非線形」ということである（上記の例では、$x_{n+1}$ は $x_n$ に比例すると同時に $1-x_n$ にも比例し、結局、$x_{n+1}$ は $x_n(1-x_n)$ という二次式に比例する）。そして、漸化式の反復代入は「フィードバック」ということに他ならない。代入を繰返すということは、また、「自己参照のパラドクス」にも繋がる。クレタ島の男が「クレタ島の人間はみんな嘘つきだ」というようなもので、このようなパラドクスを計算機に入力し解析させると、計算機は吃ったように「嘘」と「本当」を交互に出力し続けるだろう。このように自己参照系のパラドクスは計算機にとっては自虐的な振動を引起すだけであるが、生体系はこれを、その系自身を安定化させたり、系の構造を高めたりするのに使っているという。

本節を終えるに当り、ストレンジ・アトラクターは決して珍しいものではないことをあらためて強調しておきたい。例えば、周期的で秩序立った脈拍の背後に奇妙なアトラクターが隠れていて、それが心臓発作を引起す場合がある。生命活動は秩序と無秩序の狭間で営まれ、維持されていると云える。規則的な秩序の間にカオス的な無秩序が入り込んだ状態こそが現実に起っている状態である。我々の住むのは、完全な秩序の世界でもなく、完全に無秩序な世界でもない。

### §2. カタストロフィーとフラクタル

「カタストロフィー」は「分岐」とほぼ同義語で、パラメターの値を連続的に変化させたとき、力学系の振舞が突如変化する現象をそのように呼ぶ。トム（René Thom、1923-）は、トポロジーの理論を使って、非線形な系の状態が突然不連続に変化するこのような現象を説明した。ただし、そこでの力学系は「勾配力学系」という特殊なものであり、最後に到達する安定状態は静止状態に限られる（非平衡開放系では、よりダイナミックなアトラクターが現れる）。トムの功績は、数学的な理論を展開することによって、突然の変化は理論的に七つの型に分類出来ることを示し、安定に見えるような系がどのようにして急激な変化を起すのかを明らかにしたことにある。七つの型は「折り目」「カスプ」「燕の尾」「蝶」「双曲的臍」「楕円的臍」「放物的臍」と名づけられている。

一方、マンデルブロ（Benoit Mandelbrot、1924-）は、全体と同じ構造がどんな小さなスケールの部分にも繰返される—自己相似性—ことから生じる複雑な秩序を研究した。自然の複雑な構造は、それを拡大しても縮小しても同じように見える。基本となる図形をど

んどん小さなスケールに反復代入して行くことで得られる図形を「フラクタル」という。「ブリテン島の海岸線の長さはどれだけか」というのが、マンデルブロがフラクタルのアイデアを提示した有名な論文の題名であるが、数学的には海岸線の長さは無限大になる。海岸線を特徴づけるのは定量的な長さではなく、形の複雑さという定性的な性質を数値化した「フラクタル次元」である。

限りない複雑さと秩序とを併せ持つ神秘的な図形「マンデルブロ集合」は、ごく単純な複素数の方程式　$z_{n+1}=z_n{}^2+c$　をもとに得られる。$z_0=0$ から出発し、代入を繰返して行くときの $z_n$ の振舞は、どんどん大きくなるか、有限の領域に留まるかの何れかであり、それは c の値だけで決まる。マンデルブロ集合とは、$z_n$ がいつ迄も有限に留まるような複素数 c のつくる集合である。それは、一口で云えば、ダルマの細部にダルマが隠れ、それを拡大するとまたダルマが現れるという無限の連続像である。極めて近い二点がマンデルブロ集合に属していても、その間の点がマンデルブロ集合に属するとは限らない。それは、マンデルブロ集合の内部の点と外部の点とは、どんな小さなスケールでも複雑に入り乱れているからである。また、マンデルブロ集合は極めて複雑ではあるが「単連結」である。即ち、マンデルブロ集合のどんな入りくんだ二つの部分もマンデルブロ集合内の曲線で結ぶことが出来る。

どんなスケールでも同じ構造が繰返し現れるフラクタル構造は、カオスや乱流、そして無秩序系のどこにでも見られるものである。複雑な構造は複雑な操作によってのみ作り出されると考えられて来たが、フラクタルは非常に簡単な操作だけで作ることが出来る。しかし、複雑な全体は部分には分解出来ない。部分に分けようにも、そこには無限の複雑さが潜んでいて、分解出来ないのである。そして、部分で全体を説明することは出来ない。部分そのものが全体と同じ複雑さを持つからである。

このように、フラクタルは、「部分」と「全体」の関係について本質的な見直しを迫るものである。フラクタルにおいては、ボームのホログラムと同じように、部分に全体の情報が含まれている。後で見るように、ボームは、宇宙全体が一つのホログラムであり、光やエネルギーや物質が過去に直接的、間接的に相互作用した相手の記憶を何らかの形で維持していると考えている。フラクタルにおいてもホログラムにおいても、部分は全体と無関係には決められない。このような複雑な体系では、全ての要素が相互に影響を及ぼし合っているので、因果関係を細かく分析することは不可能である。複雑な体系を理解するには、複雑さをそのまま把握しなければならない。

ところで、フラクタルとは単純な反復から複雑な構造が生じたものだとすれば、それが生体の構造に見られても一向、不思議ではない。即ち、フラクタルは生体の複雑な構造の由来を説明する。樹木の枝の分岐はフラクタルをなす。人間の脳の表面もフラクタルをなし、そのフラクタル次元は 2.73 から 2.79 の間だという。ただ、反復といっても、毎回同じことの繰り返しでは機械的過ぎるので、そこにランダムな小さな揺らぎが入るようになっていれば、さらに適用範囲が広くなる。かくて、生体は勿論、自然界に見られる多くの現象がフラクタルとランダムの結合として説明出来る。揺らぎを持ったランダムなフラクタルは、無限に細かい複雑さを有するだけでなく、常に新しい形を作り、予測が不可能である。

以上を要するに、カオスやフラクタルの理論は、複雑な系の振舞は、「部分に分解して考

える」という還元主義的な方法では捉え切れないということを示している。系全体を一纏めにし、それが時間の経過とともにどのように変化するかという見方が必要である。自然が示す柔軟で複雑多様な運動を、秩序だった運動やその合成の中に押し込めて理解しようというのが従来のやり方であったのに対して、カオスやフラクタルの概念は、自然の柔軟さ、精妙さをその本質を損なうことなく、科学的記述に取り込むことを可能にした。それらはまた、ミクロとマクロの間がすっぱり二分されるものではないことを明らかにしている。

### §3. カオスと不完全性定理

カオスとはその時間発展が予測出来ないような物理的現象であり、一方、ゲーデルの不完全性定理とは真であるのに証明出来ない言明があるという純粋に数学的な定理である。両者の間には何の関係もないように見えるが、実はそうではない。

不完全性定理については第２章で述べたが、形式体系Ｆの文法的に適格などんな記号列が証明可能か（定理であるか）を決める問題は、「決定問題」と呼ばれる。1936 年、チャーチ（Alonzo Church、1903-）は、決定問題は不可能であることを示した。即ち、或る記号列が定理であるかどうかを前もって教えてくれるような体系的手順は存在しない(「チャーチの定理」)。この定理によれば、我々の為し得る最善のことは、証明にとりかかることであり、それが発見される迄待つことである。

同じ頃、第２章で触れたように、チューリングは、あらゆる形式体系は、適切にプログラムされた計算機に等価であることを示した。それによれば、形式体系の公理とは、計算の最初の時点で与えられたインプットの記号列であり、変換規則とは、それら入力された記号列（公理）を処理するプログラムである。さらに、チューリングは、十分なメモリーと時間が与えられれば、どのような計算機もシミュレート出来る万能計算機—チューリング・マシン—が存在するし、また、このチューリング・マシンの上に適当なプログラムを走らせることによって、どのような形式体系のモデルとすることも出来ることを示した。

チャーチが決定問題を論じたのに対し、チューリングが問題にしたのは、「停止問題」である。これは、或るプログラムが有限回のステップの後に停止するかどうかを前もって告げるような一般的手順（アルゴリズム）は存在するか、を問う。つまり、任意のプログラムＰとインプット・データの集合Ｉとが与えられたとき、ＰとＩとを受入れてＩを処理する際に、有限回のステップ後にＰが停止するかどうかを事前に告げるような或る一つのプログラムは存在するか、という問題である。ここで求められているのは、全てのケースで機能する一つのプログラムである。1936 年、チューリングはこの問題を否定的に解決した。即ち、ＰとＩが与えられたとき、ＰがＩの処理をいつかは終えることになるかどうかを一般的に述べる方法は存在しない（「チューリングの定理」)。

何故そうなのかは簡単に分る：いま、どんなプログラム P を入力しても、「はい、このプログラムは停止します」か、「いいえ、これはどこかで無限ループに陥り、停止しません」と答えるようなプログラム A を作ることが出来たとしよう。この A を使って第二のプログラム B を作る。つまり、A が「このプログラム P は停止する」と答えたとき、そしてそのときに限り、B は無限ループに陥るようにするのである。さて、この B に B 自身を検査対象プログラムとして入力するとどうなるか。もし B が停止するなら、A が「これは停止す

る」と答えるから、Bは無限ループに陥り、停止しない。また、Bが停止しないなら、Aが「これは停止しない」と答えるから、B は無限ループに陥ることはなく、停止する。このように、B が停止するとしても停止しないとしても矛盾が生じる。それはAを作ることが出来ると仮定したからである。

さて、形式体系とチューリング・マシンとは論理的に同等であることから、前者における決定問題と後者における停止問題とが同等であることも分る。これらが不可能だとするチャーチの定理とチューリングの定理とはまた、ゲーデルの不完全性定理と同等である。

そこで、カオスと不完全性定理との関係であるが、先ず、停止問題と力学系との間には次のような対応関係が存在する。

| 停止問題 | | 力学系 |
| --- | --- | --- |
| ・インプット・テープ・パターン | … | ・初期状態 |
| ・プログラム | … | ・運動法則 |
| ・テープ・パターンの系列 | … | ・軌跡 |
| ・プログラムが停止したとき、あるいは無限ループに入ったときのテープ・パターン | … | ・アトラクター |

プログラムの停止に対応するのは「点のアトラクター」であり、無限ループに対応するのは「リミット・サイクル」あるいは「ストレンジ・アトラクター」である。

このように、停止問題は力学系と対応関係にあり、その停止問題は決定問題と同等であり、決定問題は不完全性定理と同等であるから、結局、不完全性定理は、停止問題を仲立ちに、力学系のカオスと結びつくのである。

現実世界が豊かな多様性を示すのは、基本的には、ストレンジ・アトラクターの存在による。しかし、ストレンジ・アトラクターはその力学系がとり得る状態の全体を覆い尽すわけではないので、アトラクター上のどんな初期状態からも到達することの出来ない状態が存在する。これは、証明可能な定理の集合をPとし、真なる言明の全体をTとするとき、PはTの真部分集合である（$P \subset T$ かつ $P \neq T$）というゲーデルの不完全性定理に相当する。数学の世界が、真であるのに証明出来ない言明が存在するほど複雑であるのに対応して、現実の世界もそれと同程度に複雑なのである。

### §4. 進化

本節では生物における偶然と必然の問題を見てみたい。何でもよいのであるが、ここではリゾチームをとり上げる[1]。

リゾチームはニワトリの卵白中に約 0.3%含まれている蛋白質であり、卵に侵入して来たバクテリアの細胞壁をバラバラに壊すという役目を担っている。このリゾチームは、20種類のアミノ酸が 129 個線状に繋がって出来ている[2]。その繋がり方は、それによって生じる蛋白質の立体構造が、鍵と鍵穴のように、目指すバクテリアの細胞壁にぴったり対応するようになっていなければならない。

では、現に存在するリゾチームのアミノ酸の配列は如何にして出来上がったのか。20種類のものを 129 個並べるには $20^{129}$ 通りの仕方がある。$2^{10}=1024 \fallingdotseq 10^3$ であるから、$20^{129}=$

$2^{129}\times10^{129}\fallingdotseq(2^{10})^{13}\times10^{129}\fallingdotseq(10^{3})^{13}\times10^{129}=10^{39}\times10^{129}=10^{168}$である。この$10^{168}$というのはどれ位の大きさの数字であろうか。リゾチームは直径が20オングストロームであるが、この大きさの分子で全宇宙を埋め尽くすためには何個の分子が必要かを計算すると、$10^{103}$個で済むことが分る。ということは、20種類のアミノ酸を129個繋げて出来るあらゆる可能な分子の数$20^{129}\fallingdotseq10^{168}$は、宇宙を覆い尽くすのに必要な分子数$10^{103}$個の$10^{65}$倍も多い（$10^{103}\times10^{65}=10^{168}$）ということである。このような途方もなく巨大な数の種類の中からバクテリア細胞壁にぴたりとフィットするものがどうやって選び出されたのであろうか。

生体内ではアミノ酸の配列はDNAが決めている。DNAは、A、T、G、Cという4種類の塩基から成るが、塩基の三つ組が一つのアミノ酸に対応している（例えばTTTはリジンというアミノ酸に対応)。従って、結局、前述の$10^{168}$という莫大な数の話は、DNAの塩基配列の起源の問題に還元される。

このように、DNAは、自分の上に書かれた設計図に従って蛋白質を作らせる機能を持っているが、この他に、自分と同じものを作らせる（複製）という機能も持っている。従って、DNAの塩基配列は如何にして決ったかと云えば、親の細胞中のDNAの複製プロセスによって決ったのだということになる。問題はこの「複製」ということにある。複製というプロセスを通じて何が起っているのか、それが問題の鍵を握っているのである。

順に見て行くことにしよう。先ず、生命現象はDNAの塩基配列の指令に反することは何も出来ないことに注意したい。まさにそのことが生物の同一性を保っているのである。人間は自由を欲するものだとして、人間をそういう人間として保って行くのを保証するのがDNAである。前に第1章でも述べたように、必然性に縛られなければ自由の存立基盤が失われるのである。

このようにDNAの指令に背くことは出来ないが、DNAの指令と矛盾しなければ何をしてもよいのである。一般の固体結晶も絶対零度でない限り、熱運動によって、対称な構造の周りを揺らいでいる。蛋白質も揺らぐが、どのように揺らぐべきかはDNAは指定しない。DNAの場合には塩基配列自体の揺らぎが重要性を持つ。DNAの塩基配列が次の世代へ伝達されるとき、紫外線や放射線などの影響を受けて複製にミスが生じる。このミスコピーする性質を「突然変異」という。このほか、DNA分子の塩基配列の変化は、交配に伴う「組換」によっても生じる。もしもこれらによる変化がないとすれば、DNAの塩基配列は、どこまで祖先を遡っても、今あるのと全く同じだということになる。つまり、リゾチームの構造は、バクテリアの細胞壁にぴたりと合致するように、最初からそう決っていたのである。それは奇蹟としか云いようがないし、また、生物の構造が変化して来ているという一般的な事実（それは化石の存在から明らかである）にも反する。こうして、生物が現在このようにあるためには、DNAの塩基配列が揺らぐという偶然性が不可欠であったのである。偶然性は「自由」には貢献しないが、新しいものを生み出す可能性は有するということは、既に第1章でも見たところである。

さて、こうして偶然性が生物の出現と進化にとって必要条件だということは分ったが、それは十分条件でもあるのだろうか。リゾチームの例で考えて見よう。偶然性だけに頼るとすれば、$10^{168}$種類もある中から一つを選び出すのにどれ位の時間が必要だろうか。地球が誕生したのは訳50億年前である。1年を秒に直すと、$365\times24\times60\times60\fallingdotseq3\times10^{7}$秒であるから、50億年は$(5\times10^{9})\times(3\times10^{7})\fallingdotseq10^{17}$秒に過ぎない。前述のように全宇宙を埋

尽くすリゾチーム大の分子数は $10^{103}$ であった。これだけの個数の分子を宇宙に敷き詰め、その中にバクテリアの細胞壁にフィットするものがあるかどうかを僅か1秒間でチェックし、見つからなければ、別の $10^{103}$ 個の分子で置き換えて同様のチェックをし、という具合にして所要の分子を探し出すとしても、50億年でチェック出来る分子の総数は $10^{103} \times 10^{17} = 10^{120}$ 種類だけであり、可能な種類の総数 $10^{168}$ を全て調べ尽くすには遠く及ばない。かくて、単にミスコピーがあるというだけでは、生物を生み出すのに十分ではない。リゾチームという単純な蛋白質ひとつを生み出すにも、地球の今迄の寿命の $10^{48}$ 倍という時間を要しかねないのである（$10^{168} \div 10^{120} = 10^{48}$）。

ここで登場するのがダーウィン（Charles Robert Darwin、1809-82）の「自然淘汰」という原理である。この原理が働くことによって、上記のパラドクスが解ける。正解が出る迄にどれ位の時間がかかるかという先程の計算は、鎖の129個の環のうちの一箇所でも間違っていれば、全部をご破算にしてゼロからやり直すというものであった。しかし、自然淘汰は、部分的に合っていれば、その部分は生かして先に進むのである。そのようにすれば、試みの総数は、全てをご破算にして出直す場合に比べて、格段に少なくて済む。これの数理的な詳細は省略するが、直観的には明らかであろう（例えば、最後の一つを残し、128番目まで正しく組上がった場合を考えて見ればよい）。

雌雄という「性」のある生物の場合には、遺伝子の組換という現象が起ることで、事態はさらに効率的となる。そもそも一人の子を作るのに二人の親を必要とするという不経済をおかしてまで、なぜ性が存在するようになったのか。これに対する答の一つが、性があることによって遺伝子の組替が可能になるから、というものである。精子のもとになる細胞（卵子のもとになる細胞についても同じである）には父親由来の染色体と母親由来の染色体とが同数ずつ存在する。この細胞が減数分裂して精子になるとき、組換がなければ、或る一つの精子をとって見ると、各染色体は、父親由来か母親由来かであり、従って、その染色体上の遺伝子（複数）は全部揃って父親由来か、全部揃って母親由来か、のどちらかである。一方、減数分裂前に組替が起ると、父方染色体の左部分 - 母方染色体の右部分、と、母方染色体の左部分 - 父方染色体の右部分、という染色体を継ぎ合わせたものが二つ生じ、その結果、一つの精子の一つの染色体に父方の遺伝子と母方の遺伝子とが混在するようになるのである。

では、この組替は、進化に対してどのように機能するのであろうか。上記の精子のもとになる細胞は、六つの遺伝子から成る染色体を有し、各遺伝子は二つの対立因子1と0とを持っているとしよう。このうち父親由来の染色体は（1、0、0、1、1、1）であり、母親由来の染色体は（1、0、0、1、0、0）であったとする。二番目と三番目の遺伝子の間で組替が起ると、父親由来の左部分（1、0）と母親由来の右部分（0、1、0、0）とで（1、0、0、1、0、0）が生じ、母親由来の左部分（1、0）と父親由来の右部分（0、1、1、1）とで（1、0、0、1、1、1）が生じるが、どちらも元からあったものである。一番目と二番目、三番目と四番目、あるいは四番目と五番目の間で起った場合も同様であり、新しいパターンは生まれない。これに対し、五番目と六番目の間で起った場合には（1、0、0、1、1、0）と（1、0、0、1、0、1）とが生じ、これらはどちらも新しいパターンである。組換は特にどこで起り易いということはない。従って、一番目と二番目の間、から、五番目と六番目の間、までの五箇所の何処でも同じ確率で起るが、新しいパターンが生まれるのはこの内最後の箇

所で起った場合に限られる。染色体の最初の部分は、父方、母方とも（1、0、0、1）であり、共通している。つまり、この部分は十分適応を遂げ、安定しているのである。従って、そこに組替が起っても、変化は生じない。それに対して、染色体の最後の部分は、父方（1、1）、母方（0、0）と、安定しておらず、適応の途上にある。そこに組替が起これば、新しいパターン（1、0）、（0、1）が生じる。こうして、結局、組換が起らなかった場合や安定した部分に起った場合も含めて、（1、0、0、1）を前半部とし、後半部が（1、1）、（0、0）、（1、0）、（0、1）である都合四つが淘汰の篩にかけられるのである（以上は精子のもとになる細胞から来た染色体についてであるが、それ単独で淘汰を受けるのではなく、卵子のもとになる細胞から来た染色体とペアを組んだ上で淘汰を受ける）。

このように、生物というのは、自然淘汰の原理により、複雑で有意な情報を短時間のうちに蓄積して行くことが出来るのである。自然淘汰とは、適者生存に基く「偶然の必然的凍結」の原理だと云える。（突然変異のうち大多数は有利でも不利でもない中立な変異であるとする木村資生の「分子進化中立説」（1968 年）に従えば、「適者生存」ではなく、「不適者非生存」とでも呼ぶべきだろう。ただし、偶然だけに頼ったのでは時間が足りないという問題を解消させるという意味では、適者生存と考えても不適者非生存と考えても、同じことである。）

以上を要約すれば、生物が現在見られるようなものに進化するためには、必然性と偶然性の両方が手を携えて働く必要があったということである。必然性だけでは新しいものは決して生まれない。もし DNA が完璧な自己複製装置として働くものであったならば、世界はただ一種類の生物の複製物で占拠されていただろう。ミスコピーなどの偶然があってはじめて多様な生物が生じ得たのである。しかし、一方、偶然性だけに頼ったのでは好ましい結果が得られる迄に厖大な時間を要するし、せっかくそのような結果が得られたにしてもそれは次の世代に伝わらない。まさに、偶然と必然とが手を携えることで、今日あるような生物が出現したのである。

ところで、量子力学では、位置を確定しようとすれば速度が確定せず、速度を確定しようとすれば位置が確定しないという問題（ハイゼンベルクの不確定性原理）があった。その影響もあり、ひところは、生物学においても、細胞などの分子的な構造を確定するためには「生きている」という生命現象を犠牲にしなければならず、生命現象は分子的な構造によっては理解出来ないと考える学者もいたということである。しかし、ワトソン（James Watson）とクリック（Francis Crick）が 1953 年に DNA の二重螺旋構造を発見して以来、ミクロなものを通じて生命現象を解明する道が開けたのである。そして、量子力学におけると同様、そこでも「偶然」が本質的な役割を果しているのであった。しかも、量子力学における偶然は直接目に見えるものではないが、生物においては、まさに偶然が目に見える形となって姿を現しているのである。

ただし、この場合も、「偶然」と呼ばれているものの正体は何かという問題は依然として残っている。上記においては、紫外線や放射線の影響とか組換などによって生じる DNA の塩基配列の揺らぎが偶然の源泉だとしたが、その場合、「揺らぎ」という言葉で果たして何が意味されているのか。これは「偶然とは何か」という小論のテーマの根幹をなす問題であるので、第 6 章で各種の説を展望した後、最後の「結び」の章で総括する。

## §5. カオスの縁

本節では、生物の進化において必然と偶然とが手を携えて進むとは、カオスの言葉で云えば、どのような事態であるのかを見てみたい。つまり、必然／偶然と、秩序／混沌とは、どのような関係にあるのかという問題である。そのために、先ず「生物」とは何かということから考えて見よう。進化という以上は、それは生命が代々受継がれて行くところに成立つものであるから、その観点からすれば、「生物とは自己を複製するものである」という定義は妥当であろう。

フォン・ノイマン（John von Neumann、1903-57）は、自分自身の複製を作るように機械をプログラムすることは可能か、という問題を考えた。何十億年にわたって自己複製を続けて来た生物といえども、生化学的レベルで見れば、結局のところは、自然法則に従う「機械」に過ぎないのではないか、という考えが背景にあってのことである。

フォン・ノイマンは、次のような思考実験から始めた：池に、機械が一台と沢山の部品が浮んでいる。設計図さえ与えられれば、この機械は、池を泳ぎ回ってぴったりの部品を探しあて、どんな機械でも組立ててしまう。特に、自分自身の設計図を与えられれば、この機械は、自分の複製を組立てる。

この機械は自己を複製したとは云えない、とフォン・ノイマンは云う。なるほどこの機械によって作り出された複製は正しい部品を全て備えてはいるだろうが、自分自身の設計図は持っていないだろうからである。そこでフォン・ノイマンは、自己複製という以上、親の機械は、自分の設計図を取出してそれをコピーし、それを子の機械に与える装置を持っていなければならない、とした。これは、つまり、親は、次のような基本的に異る二つの役割を果す「遺伝物質」を有していなければならない、ということである：即ち、その物質は、①プログラムとして、即ち、子を作る際のアルゴリズムとして機能する、②受動的なデータとして、即ち、複写して子に受け渡すことの出来る設計図として機能する。これはまさに、その後、ワトソンとクリックが発見したDNAの二重螺旋構造の機能に他ならない。

さて、それでは、本物の生物以外にも、上記のような厳密な意味での自己の複製が可能なものが存在するだろうか。この問題に対して、フォン・ノイマンは、ウラム（Stanisław Marcin Ulam、1909-84）のセル・オートマトンの理論を利用した。この理論は、平面を格子で仕切り、正方形の升目から成る碁盤を考える。各正方形は「セル」と呼ばれる。各時刻において、各セルは有限個の状態のうちの一つだけをとるものとする。「状態」とは、例えば、〈赤、黄、青〉の三個の状態でもよいし、〈生、死〉あるいは〈1、0〉などの二つの状態でもよい。要は互いに区別出来る有限個の状態であれば何でもよい。各セルは、各時刻に、複数の状態のうちの一つをとる。どの状態をとるかは、直前の自己の状態と、直前の自己の近傍のセルの状態とによって決まる。これは、各セルの状態の遷移のルールが、自分と近傍のセルの状態の組合せに基いて次にどの状態に移ればよいかを示す「遷移規則」表によって与えられるということを意味する。

例えば、状態として〈生、死〉を考えよう。或るセルCが今〈生〉の状態にあるとして、周りに〈生〉の状態のセルが多数あれば、環境は過密であり、次の時刻にもこのセルCが〈生〉であるのは難しい。環境が過疎の場合にも、Cが〈生〉のままであるのは難しいだろう。周りに〈生〉の状態のセルがほどよく存在すれば、今〈生〉のセルCは次の時刻にも

〈生〉であろうし、今〈死〉でも次の時刻には〈生〉であろう。このように、一つのセルCとその近傍のセルの現在の生死の状況に応じて、そのセルCの次の状況を決めるのが遷移規則表である。この遷移規則表はどのセルについても共通である。

時刻0における初期状態として各セルの状態を適当に設定し、それらに遷移規則表を適用すると、次の時刻1における各セルの状態が定まる。それらに再び遷移規則表を適用して、次の時刻2の各セルの状態が定まる。状態が〈生、死〉の二つであるとして、〈生〉のセルは白で、〈死〉のセルは黒で表示することにすれば、時間の経過とともに、碁盤上には白の陣地と黒の陣地とが様々に入り乱れ、動いて行くであろう。それがどのようなパターンを描くかは、初期状態と遷移規則によって変わる。

フォン・ノイマンは、このセル・オートマトンの描くパターンのうちに、自己複製するパターンが少くとも一つは存在することを理論的に証明した。フォン・ノイマンの見つけたこのパターンは上記の厳密な意味で自己複製するものであり、そのため膨大な数のセルと、一つのセルについて29もの異る状態を必要とするような、極めて複雑なものであった。これは現実のコンピューターではとてもシミュレーション出来るものではないが、そういうパターンが存在するということ自体が、かつては生物のみの特性だと考えられて来た自己複製を機械も実行し得るという、科学の原理にかかわる問題提起であったのである。自己複製とは何か神秘的で超科学的な「生命力」によって生じるものであり、自己複製する機械というような概念は馬鹿げたもの、ないしは冒瀆的なものである、というのが従来の一般の考え方であった。フォン・ノイマンはそれを覆した。

29の異る状態を持つような、厳密な意味での自己複製システムを実際に構築することは不可能である。そこで、ウルフラム（Stephen Wolfram）は、ごく少数の状態しか持たないセル・オートマトンの描くパターンを調べ、1984年、どんな遷移規則も四つのクラスのどれかに分類されることを示した。クラスⅠの遷移規則の下では、最初に〈生〉のセルと〈死〉のセルがどう並んでいても、数ステップ後には全てが〈死〉となる。クラスⅡの遷移規則の下では、〈生〉のセル同士が寄り集まって、動きのない、あるいはその場にとどまったまま周期的に振動する小さな塊が幾つか出来る。クラスⅢの下では、安定なものは何もなく、何か構造らしいものが出来ても次の瞬間にはばらばらに壊れてしまう。最後に、クラスⅣの遷移規則が生み出したのは、複雑な動きを見せて成長し、増殖し、分裂し、合体し続ける構造物であった。以上を力学系の言葉で表現すると、Ⅰは「点のアトラクター」を持つ系に、Ⅱは「リミット・サイクル」を持つ系に、Ⅲは「ストレンジ・アトラクター」を持つ系―カオス―に、夫々対応する。しかし、Ⅳの遷移規則に対応するものは、従来の力学系の理論には一つも見あたらなかった。

クラスⅣは何を意味するのか。それを理解するためには、これら四つのクラスはどのように関係し合っているのか、また、或る規則がどのクラスに属するかを決めるものは何か、を明らかにしなければならない。遷移規則にパラメターを導入し、それによってⅠ～Ⅳの夫々を特徴づけることを考えたのが「人工生命」の研究者ラングトン（Christopher Langton、1948-）である。彼が導入したパラメターは、一つ一つのセルが次の時刻に〈生〉である確率を示すもので、λと名づけられた。実際にプログラムを走らせて見ると、λ＝0の近くでは、凍りついた死の世界、つまりクラスⅠの遷移規則以外には何も得られなかった。λの値を少しずつ上げて行くと、周期的な動きを生み出すクラスⅡの規則が出現するようにな

った。$\lambda=0.5$ までどんどん上げて行くと、全くのカオスの世界、つまりクラスⅢの遷移規則が現れる。そして、予想されたように、Ⅱに対応する$\lambda$の値と、Ⅲに対応する$\lambda$の値の中間に$\lambda$の値を設定すると（およそ0.273）、まさにクラスⅣの規則が出現したのである。（$\lambda$の値が0.5を越えると、〈生〉と〈死〉の役割が逆転して、1.0の近くでは再び完全な静止の世界となる。）

こうして、自己複製という現象が起り得るとすれば、それは、クラスⅡとクラスⅢの中間においてである、ということが示されたのである。ウルフラムやラングトンのモデルは厳密な意味での自己複製モデルではないから、ⅡとⅢの中間という条件は、自己複製の必要条件ではあるが、十分条件ではない。しかし、ⅡとⅢの中間以外の場所では複雑な現象が生じない以上、極めて複雑な現象である自己複製という現象も、ⅡとⅢの中間以外の場所では生じ得ないことが、これではっきりしたのである。こうして、自己複製が見られるとすれば、それはⅡとⅢの中間、つまり「秩序と混沌の狭間」においてであることが明らかにされた。自己複製は、まさに、「カオスの縁」で起っていたのである。

ところで、前節で見たように、偶然に発生した遺伝子の突然変異や組換は、自然淘汰によって選択され固定され、必然のものとなるのであった。進化はこの「偶然の必然的凍結」の原理によって齎された。これと本節の結果を合わせれば、偶然と必然とが手を携えて、生物をカオスの縁へと連れて来たということになる。

以上を要するに、必然と偶然とが協力し合うところ、そこが秩序と混沌との狭間であり、生物の存在も進化もそこにおいてはじめて可能となる。

## §6. 砂の山

カオスの縁で生じているのは生命現象だけではない。上から絶えず砂粒が降り注いでいるような砂山を考えよう。砂山は次第に高くなって行くが、やがてそれ以上は成長出来ないところまで来る。山の斜面から崩れ落ちて行く砂の量と、上から降り注ぐ砂の量とが釣り合うからである。はじめに大きな山から出発してもこれと全く同じ状態が得られる。崩れ落ちる砂の量が次第に減少し、降り注ぐ砂の量と釣り合うようになるからである。

いずれにしても、最終的に得られる山は、全くそれ自身だけで定常な状態に達するという意味で自己組織化されている。しかも、それは、表面の砂粒が辛うじて安定を保っているという意味で臨界状態にある。この山に、たった一粒の砂が上から落ちて来たとき、何が起るかは全く分らない。何も起らないかも知れないし、僅かな数の砂粒がほんの少し位置をずらすだけかも知れないし、あるいは、斜面全体に大きな地滑りが起るかも知れない。

しかし、そこに数学的な法則は存在するのである。大きな雪崩はめったに起らず、小さな雪崩はしょっちゅう起る。これが雪崩の「ベキ法則」であり、頻度は規模の何乗かに反比例する。

このベキ法則は何ら特殊なものではなく、自然界の多くの現象でごく普通に見られるものである。エネルギーや水や電子の絶えざる入力が、自然界の実に様々なシステムを同じような自己組織化に導く。自然界では、臨界の縁に辛うじて踏みとどまっている幾つものサブシステムが複雑に絡み合っている。それらは、その縁に踏みとどまるのに丁度必要なだけの頻度であらゆる規模の崩壊を繰返し、ものごとをばらばらにしたり、再構成したりしているのである。これを地震について云えば、地震とは、動きのとれない断層に突然破

局的なずれが生じて起るものではない。断層はいつずれを起してもおかしくない状態に常にあるのであり、従って、そこでもベキ法則が成立っているのである。小さなずれはしょっちゅう起っているが人はそれを感じない。滅多に起らない大きなずれが「地震」なのである。

自己組織化臨界は一連の雪崩の全体としての統計的性格については語るが、特定の雪崩については何も語らない。理解と予知とは別なのである。断層についてベキ法則に従う大局的振舞に関する詳細な知識をいくら持っていても、特定の地震を予知することは出来ない。

1. 以下、リゾチームについては、伏見譲（1982）81-106 頁を参考にした。
2. 同書 85 頁。

# 第6章　ネットワーク

前章では、秩序と混沌、必然と偶然とが手を携えて出現する様子を見て来たが、それらの背後にはどのような原理が働いているのだろうか。セル・オートマトンのモデルを振り返ってみよう。そこでは、碁盤上にパターンを生じさせ、動かしている「誰か」がいたわけではない。夫々のセルとその近傍のセルとの間の関係だけによって、全体の構造と動きが生じたのである。外からパターンを統制し、動かしているようなものは存在しない。個々のメンバーの相互の関係だけで、全体の動きが決まるということは、メンバーの間にネットワークが存在していることを意味する。そこで、本章では、偶然と必然の問題を「ネットワーク」という観点から見て行くことにしたい。

## §1. 因果の網

### (1)網としての因果

決定論とは、法則と初期条件とが与えられれば、未来の状態を予言出来るということだとすれば、そのベースにあるのは、原因 - 結果の連鎖という考えである。原因と結果が鎖のように一列に繋がっていればこそ、一つの項（初期値）から出発して一方へ辿れば未来を予測出来るし、もう一方へ辿れば過去を推測出来る。しかし、「一つの原因から一つの結果」とは、あまりに単純化した見方ではあるまいか。多くの原因が共働して一つの結果を生み、その結果が今度は原因となって、他の原因と共に次の結果を生む、と考えるのが自然であろう。つまり、因果は、一次元の「系列」をなすのではなく、多次元の「網」をなすと考えるのである。

勿論、一つの原因とか一つの結果という場合に、「一つ」という言葉で「単純な」事象が意味されているとする必要はないだろう。一塊のもの、一群のものとして作用すればそれで「一つ」である。しかし、そのように解釈し直したとしても、多次元の「網」が一次元の「鎖」に解消されるものではない。

ところで、普通、我々は因果「系列」という言葉を使っている。それは、相互に絡み合っている原因 - 結果の複雑な「網」の中から、我々は、人工的に或る一方向の連鎖を分離し、切り取っているのだと考えればよい。これは物事を説明するには極めて重宝なやり方である。というよりは、因果の網から当面必要な部分、注目すべき部分だけを線型に切り取って分離しない限りは、物事を説明したことにならない。ポアンカレも「男と屋根師」のところで云っていたではないか：「我々は力弱く、宇宙全体を包容することは不可能であるから、宇宙を幾つかの片々に切割かなければならない。でき得る限り不自然にならないようにするのであるが、なおときとしてその片々の二つが互いに作用し合うことがある。かかるとき、この相互の作用の結果が我々には偶然によるかの如くに見えるのである。」

そして、それを受け、第１章では、「互いに独立な因果系列の交叉の目撃」として偶然を定義した。ということは、当然、互いに独立でない因果系列も存在するということである。その場合、独立でない因果系列とは、互いに影響し合う因果系列である。では、その「影響」とは何なのか。それもまた因果の関係ではないのか。もともと上記の定義には、このような問題があったのである。つまり、因果が網でなければ、互いに影響し合う系列

などというものは存在し得ない。

話は変わるが、「風が吹けば桶屋が儲かる」というのも、因果が網であるからこそ云えるのである。因果の網から一次元の系列を、勝手に、都合のよいように、切り取ったのである。つまり、「風が吹く」→「埃が目に入る」→「盲人が増える」→「三味線の需要が増える（盲人は三味線で生計を立てる）」→「猫が減る（三味線には猫の皮が使われる）」→「鼠が増える」→「桶の齧られるのが増える」→「桶屋が儲かる」。一つ一つの矢印は、立派な因果の関係である。それらを上記のように繋ぎ合わせるというのは、勝手にそうやっているのである。それが可能なのは、因果が網をなしていればこそである。

さて、この因果の網は静的なものではなく、時間的に発展する。時間の経過とともに、織物が織られて行くように、因果の網も織られて行く。つまり、事象の全体が全体を支え合って（影響し合って）、それが時間とともに成長する。それがこの世界である。だから、誰かが何かを外から「決定」している訳ではない。互いに互いを決定し合って、全体として自己発展して行く。だからその過去はどうであったかを遡って知ることは出来ても、未来の予測は出来ない。「出来ない」というのは、一本の線として予測出来ないということであり、過去どのように発展して来たかが分れば、未来の成長を確率的には予測出来るだろう。

この互いに互いを決定し合うという現象は、例えば、朝のラッシュ時の駅における群集の動きに見られる。JR から地下鉄に乗り換えるサラリーマン、私鉄から JR に乗り換える会社員が、駅の狭い通路に殺到するが、全体としてそれは整然と流れて行く。首相や都知事あるいは駅長が、誰がどう歩くかを「決定」し、指示している訳では全然ない。各自が、周りの状況に応じて、どう歩くかを決めているのであり、それによって全体が進行する。勿論小さなトラブルはしょっちゅう起るだろうが、誰が解決するということもなく、全体の流れの中でおさまって行く。

これはまた「靴紐仮説」の実現だとも考えられよう。後で詳しく見るように、靴紐仮説とは靴紐を引っ張って自らを持ち上げようとする男に因んで名づけられた仮説である。現在、素粒子は何十と発見されているが、それらを統一する理論は可能なのか。ゲルマンは、靴紐仮説を使えば統一は可能だろうと云う[1]。つまり、全ての粒子が構成要素として働き、そして、全ての粒子が構成要素を結びつける力の場の量子として働き、そしてさらに、全ての粒子が構成要素の結合状態として現れる、のである。夫々が夫々を支え合うことで、全体が緊密な一を成す。

相互依存の現象は、また、数学における公理体系に喩えることも出来る。数学では「点」や「直線」は定義されない。これらは、互いを関係づける公理—「二点は一直線を決定する」—を通してのみ定まる。

相互依存はまた陰関数にも喩えられる。$x^2+xy^2+3y^3=0$ のような陰関数 $f(x, y)=0$ では、x は y に依存し、y は x に依存する。陽関数 $y=g(x)$ のように、一方が主で、他方が従ということはない。陰関数においては、先ず在るのは関係 f であり、それによって x、y が同時に定まる。f が即ち因果の網である。

相互依存の有様は、電荷によって次のようにも表される。金属物体の表面を覆っている電荷 $a_1$、$a_2$、$a_3$、…の全体は一つの「世界」を構成している。$a_1$ はいま何故ここにある

のか。それは、$a_1$以外の全ての $a_2$、$a_3$、…との関係（クーロンの法則）において、である。もし、$a_2$が取除かれるならば、それに応じて全電荷の配置が影響を受けるのであり、$a_1$も少しずれて落着く。$a_3$が取除かれた場合も同様である。従って、結局、$a_1$について語るには、それ以外の全ての電荷 $a_2$、$a_3$、…に言及せざるを得ず、それで、$a_1$には、それ以外の全ての電荷$a_2$、$a_3$、…が意味上含まれると云える。それは$a_2$、$a_3$、…についても同じである。かくして、ここに、法則関係を土台にして全電荷相互のネットワークが完成する。

全体の一部である$a_1$が全体を含むという上記の見方は、華厳宗の世界の捉え方に端的に表明されている。蓮の華に置いた一滴の露に全世界が収まっている。それで、一滴の露と全世界とは照応し合うが、それだけではない。蓮の華には他の露もおりているだろう。その露にも全世界が収まっている。だから、世界を介在させることなしに、露と露とが直接に照応し合うのである。

部分が全体を含むというこのような見方はホワイトヘッド（Alfred North Whitehead、1861-1947）の『過程と実在』にも見られる。彼の有機体哲学は、互いが互いを支え合い、互いが互いに影響を及ぼし合うことによって全体が進展して行くとはどういうことであるかを哲学的に解明しようとするものである。それは本章で展開しようとするネットワークの考えに一つの基盤を提供してくれるものであるから、項をあらためて詳述することにしたい。いずれにしても、相互依存性という見方は、部分を全体から切り離すことは出来ないということを意味する。それは、物事を部分に分解して説明するという還元的なものの見方の対極に位置するものである。

最後に、因果を網と見ることに関して三点ばかり補足しておこう。

先ず、因果を網と見ることは、何と何とが同時にあるかに注目するということでもある。これは第３章で述べたように、中国の『易経』に見られる思想である。フォン・フランツによれば、古代中国では、何の後に何が起ったかという因果的関係によってではなく、何と何が同時にあるかという照応関係によって世界を構造化した。宇宙は自発的調和の状態にあり、現象の規則性は何ら外部の権威に基くものではない。自然や社会における調和は、それらの過程に存する平衡を起源としている。

第二は、因果の網の始原は一点だと考える必要はないということである。そもそも、一点であったとすれば、そこからはそれ以上発展のしようがない。この宇宙には最初から複数のものが存在していたからこそ、それらの相互作用によって、宇宙は発展して来たのではなかろうか。しかし、この問題は、そもそも宇宙に「最初」があるのか、という問題を抱えている。これはカント（Immanuel Kant、1724-1804）が第一アンチノミーで論じた問題である。カントによれば、宇宙そのものは如何なる空間の中にもないし、如何なる時間の中にもない。

第三に、因果を網とする見方は、この世界を傾向性が現実化する過程と捉えるポパーの見方に繋がることを指摘しておこう。傾向性とは、単なる可能性ではなく、物理的現実であり、力の観念の一般化であった。鉛を仕込んだ骰子を地球の表面で振る場合と月の表面で降る場合の例で示されていたように、傾向性は、物体に内在する属性ではなく、状況全体に内在する属性である。

さて、そうだとすると、状況の変化とともに、傾向性も変化する[2]。ところで、我々の世界についての理解そのものが、変化しつつある世界の諸条件を変化させる。我々の願望、好み、希望、夢、幻想、仮説、理論が、世界の諸条件を変化させ、間違った理論でさえ世界を変化させる。そうすると、これらの変化に連れて、傾向性も変化するので、決定論は成立たない。過去の諸状況は未来の諸状況を唯一無二のやり方で決定するのではなく、未来の諸状況に影響を及ぼす変化しつつある傾向性を決定する。傾向性とは確率であるから、過去は未来を確率的に定めるに過ぎない。未来は開かれている。過去だけが固定されている。

こうして、世界は最早因果関係によって一意的に縛られたものではなく、傾向性が現実化される展開過程である。それは、縁起の網が自らを織り上げつつ時間発展して行くのと類似の関係にある。新しい傾向性は、常に新しい傾向性を創造する。傾向性の世界は本来的に創造的である。地球に生命を出現させ、進化へと導いてきたのもこの傾向性である。

傾向性は条件さえ整えば現実化される。開かれた未来は、多くの競合する傾向性として、既に現存しているとも云える。我々を動かしているのは過去からの「蹴り」ではなく、未来の競合する傾向性からの「引き」である。

### (2)縁起の世界

事象と網との関係は、先ず事象があって、それらを因果の網がとり結んでいるのではない。逆に、因果の網目として生じるのがそれぞれの事象である。先ずあるのは網であり、事象はその網目であり、網が時間的に発展して行くに伴いその網目として次々と事象が生起する。そうした考えを端的に表明しているのが「縁起」である。

縁起とは仏教の中心思想で、一切のもの（精神的な働きも含む）は種々の因（原因・直接原因）と縁（条件・間接原因）とによって生じるという考えを表す。

もともと仏教においては、因果は網であった。因果は法（dharma、事物）と法の間の多方向的・重層的な関係であり、ネットワークをなす。一つの法が生起するには必ず複数の法が関係し、そうして生起せしめられた法は、今度は、他の法とともに、複数の法の生起に関係する。それを精緻に体系化したのが小乗の有力部派である説一切有部の六因四縁五果の説である。しかし、法と縁起との関係について、説一切有部は、先ず「有る」のは諸の法であり、それらがあらためて縁起の関係に入るのだとした。「有部」という名称もそれに由来する。これに異議を唱えたのが竜樹（Nāgārjuna、150-250頃）であった。法が固有の自性を持ったものとして自己完結的に存在しているのであれば、それが他の法と関係するのは不可能ではないか、と。そこで、竜樹は、法と縁起の関係を逆転した。先ず「有る」のは縁起である。真に「有る」と云えるのは縁起のみである。だから、諸の存在は「無自性」であり「空（śūnya）」である（法は、縁起のゆえに無自性、空）。こうして事物の実体性は破砕され、現実の絶えざる消滅変化は縁起という関係性の現われだとされた。

これをもう少し具体的に見てみよう。竜樹は、『中論』第二章で、「去るものは去らない」ことを次のように論証する。先ず、「既に去ったもの（已去）」は去らないし、また、「未だ去らないもの（未去）」も去らないと云う。これは当然だろうが、竜樹は、このことから、「いま現に去りつつあるもの（去時）」も去らないと結論する。その理由として、既に去ったものと未だ去らないものとを除いては、まさに去りつつあるものは理解されないから、

と。これは、過去、現在、未来とすっぱり切断してしまえば、その過去、未来に「去る」は無い。そうした状況のもとでどうして現在に「去る」が有り得ようか、というのである。つまり、現在に、突然、「去る」が出現し、消滅するというようなことは不可能である、と。

これに対しては、いや、そんなことはない、という反論があるだろう。〈去る〉ということは、いま現に去りつつあることの中にこそ有る、と。それに対する竜樹の答えは、「去りつつあるものに、〈去る〉という作用（kriyā）がどうして可能であろうか」というものである。つまり、「去りつつあるもの」には、既に、「去る」という作用が結びついている。そこに、もうひとつ別の「去る」が結びつきようがないではないか、と。強いて、「去りつつあるものが去る」と云い張るのなら、「去りつつあるもの」は去らないからこそ、そこに、「去る」が結びつき得るのだ、と。そうすると、結局、「去りつつあるものは去らない」から、そのものは「去る」！（屁理屈のように聞こえるかもしれないが、「去る」を「倒れる」で置き換えてみれば分り易い。「いま現に倒れている人」がその上、更に倒れる、ということは論理的に不可能である。）

このように行為と行為者とを切離して実体視すると問題が出て来るが、原因と結果とを別々に実体視しても矛盾が発生する。『中論』第二十章において、第19頌では、原因と結果とが同一であることも別異であることもあり得ないことが云われ、第20頌ではその理由として、同一とすれば生ずるものと生ぜられるものとが一体となってしまうし、別異とすれば原因は原因ではないものにならざるを得ないから、と。続いて第21頌では次のように問われる：「自性（それ自体）として既に実在している結果を、原因はどのようにして生ずるのであろうか。自性（それ自体）としては実在していない結果を、原因はどのようにして生ずるのであろうか。」

これは、結局、実体としては原因も結果も存在しないということである。もともと仏陀の説いた因果は、「これがあるとき、かれがある」という形のものであった。小乗はこれを時間的生起関係と解したが、竜樹はこれを相互依存関係（相依性）と捉えかえした。竜樹によれば、行為から果報が熟するという事象の流れを、行為と果報とに区別し、夫々を「原因」「結果」として実体視する思惟方法そのものが誤りなのである。全てのものは他のものに依存して生起し、存在する。その「他に依る存在」には元々自立性もないし、固定した本質もない。逆に云えば、自立的で恒常不変な本質があるとすれば、その存在のためには他のものを必要としないし、他のものによって生起するということもあり得ない。本来固定出来ない現象の流れを固定し、それに原因とか結果とかの名を与え、実体性を付与するのは、人間の概念的思惟に他ならない。

以上のような竜樹の考えを現代物理学との関係で見てみよう。

先ず、第１章で見た量子論の２スリット実験で云えば、一つの電子が如何なる時刻においてもそれ自身の性質（位置、速度等）を持っていると考える場合にのみ、それはパラドクスなのである。何故なら、各電子がどんな時にもそれ自身の性質を持つとすれば、各電子は必然的にどちらか一方のスリットだけを通る筈であり、両方のスリットが開かれているときにスクリーンに現れる図形は、一方のスリットだけが開かれているときに現れる図形の単なる重ね合わせでなければならないからである。電子はそれ自身の性質を持っていない―無自性・空―と考えれば、そして、関係性の全体によって出来事は決まるのだと考

えれば、パラドクスではなくなる。それは、一つのスリットを通る電子の軌跡は、もう一方のスリットが開いているか閉じているかという事実によって影響を受けると考えることである。以上は、第４章で述べた、２スリット実験に対するポパーの見方とは異る。ポパーの場合には、一つの電子は如何なる時刻においてもそれ自身の性質を持つとされている。

次に、例えば、「彼は行く」は、普通には次のように理解されていよう。「彼」自体は動かないものであり、そのようなものとして存在する「彼」が「行く」という運動をするのである、と。一般に、「彼」とか「彼女」とかの主語―何でもよいが―は、本質的に不変で静的な存在であり、それらはばらばらに存在すると考えられている。これは、全てのものが、不変な本質を持つ基本粒子から構成されているとする伝統的な物理学の見方と同じである。

しかし、実在するのは過程であるという考え方もある。以下、ボーム（David Bohm、1917-1992）の考えを見てみよう[3]。水面を渦が流れて行く。けれども、「渦」が「流れて行く」のではない。「渦が流れて行く」―これで一つの全体である。つまり、存在するのは「流れ」だけであり、「渦」は流れる運動から抽象されたものに過ぎない。渦は流れの全体的過程のうちで出現したり消失したりする。これは意識についても同じである。意識の流れの中で形成され消えて行く個々の思考や観念に較べれば、意識の流れ自体の方が基本的存在であるのは明らかである。「流れ」があっての「渦」や「観念」というこうした見方は、「縁起」があっての「法」という竜樹の見方と一致している。この「流れ」においては、精神と物質は互いに分離した実体ではない。それらは、分断されない一つの全体をなす運動の異る二側面である。

物理学では、従来、素粒子が全実在の究極的実体であると考えられていたが、現在では、素粒子といえども、誕生し、消滅し、変形し得るものであることが発見されている。素粒子は最早究極の実体ではあり得ず、これらは、運動の深層レベルから抽象された、相対的な意味でだけ恒常的な諸形態に過ぎない。ボームによれば、一切は流動である[4]。物理学の法則についての我々の知識がどんなに進んでも、それらの法則の内容は、上記の意味での抽象物とだけかかわり、それらはただ相対的な存在の独立性と振舞の独立性を持つだけである。そして、首尾一貫するためには、知識もまた或る一つの過程であると云わなければならない。つまり、一切が流動であるならば、知識の各部分は、成りつつある過程のうちで抽象されたもの以外ではあり得ないし、従って、絶対的に不可変な知識の諸要素などというものはあり得ない。

我々は「素粒子は相互に作用を及ぼし合っている」と云うが、これも、ボームに云わせれば、「素粒子は究極的には互いに混じり合い相互浸透している、従って、それらの素粒子は、相互に依存した継続的運動である」と云うのが正しい。量子力学における「観察問題」にしても、「観測者が対象を見ている」と語るのではなく、「〈人間〉や〈人間の見ている対象〉と呼ばれているものも一つの抽象に過ぎず、それらの抽象を含む全体的運動として観察が進行する」とすべきなのである[5]。観測者と観測対象はともに、分割も分析も不可能な一なる全体的実在の相互浸透し合う二つの側面に過ぎない。

以上のように、ボームは、竜樹と同様、「ある」よりも「なる」を基本とし、名詞よりも動詞を重視すべきことを強調している。動詞は行為や運動を記述するものであるが、行為や運動は明確な分離や分割を持たず、他の行為や運動の中に流れ込んで一体となる。そ

れだけでなく、運動は常に変化しており、運動の中には永久不変の固定的パターンや形態は存在しない。思考や言語における諸分割は、我々の便宜のために形成されたものである。

### (3)「過程」と「実在」

世界の内のどれ一つをとっても、それ単独で自存しているものはなく、どれもみな、他の全てのものと関係し合っており、個が個として成立つのも、世界が全体として進展して行くのも、全てはこの相互依存関係―縁起―によってである、というのが竜樹の説であった。しかし、どのような仕組によってそのようなことが可能なのだろうか。ホワイトヘッドは、これについて哲学的考察を試みた一人である。彼は次のように云う。

> 我々が一掃しなければならない誤った考え方は、自然を夫々孤立の状態にある独立した実質の集合体に過ぎない、と見做す考え方である。こうした概念に従えば、その性質がばらばらに定義され得る実質が一緒になって、それらの偶然的関係によって自然の体系が形成されることになる。…
>
> …孤立した出来事は出来事ではない。何故なら、出来事は何れもより大なる全体的出来事の要因であり、また、その全体的出来事によって意味づけされるものであるから。空間を離れて時間は存在せず、時間を離れて空間は存在しない。更に、自然の出来事の推移を離れて、時間も空間も存在しない。…思考において孤立している実質は、如何なるその対応物も自然においては見出し得ない。このような孤立化は、知的認識を遂行するための単なる手続きに過ぎない[6]。

さて、竜樹の云うように、夫々が夫々を支え合って、全体が動いて行くとすれば、「法則」なるものをどのように考えればよいのだろうか。先ず、この問題から見て行くことにしたい。ホワイトヘッドは、『観念の冒険』において、古代から現代に至る「自然の法則」観に四つの説があると云う[7]：①「法則」を内在するものとする説（the doctrine of Law as immanent)、②「法則」を賦課されるものとする説（〃 as imposed)、③「法則」を観察された継起の秩序だとする、あるいは、「法則」を単なる記述だとする説（〃 as observed order of succession、〃 as mere description)、④「法則」を規約による解釈だとする説（〃 as conventional interpretation)。

先ず、①の内在説とは、存在と法則との本質的な「内的関係」を主張する説である。我々が事物の本質を理解すれば、そのことによって、それらの事物の相互関係が知られる。ホワイトヘッドはプラトンの言葉を引く[8]：「私は、存在の定義は端的に力だと思う」。ここでいう力とは、賦課説のように、外部から賦課され、強制されるものではない。そうではなく、力を働かせ、力の働きに従うこと、つまりは作用と反作用とが、存在の本質だというのである。これは、存在の本質は他の諸存在に因果的に作用することと深く結びつけられるべきものだ、ということを意味する。このように存在の本質が「もの」としての実体ではなく、作用という「出来事」的なものだということは、後で見るように、『過程と実在』において、「現実的実質（actual entity)」が「現実的契機（actual occasion)」と同一視されることのうちにも現れている。ホワイトヘッドは内在説から云えることとして次の六つを挙げている：ⅰ）科学者は説明を求めているのであって、単に、単純化された記述を求めているのではない。ⅱ）法則とは外部からの強制ではないのだから、自然が法則に厳密に従うことは期待されるべきでない。法則とは統計的性格のものである。ⅲ）事物が変

化するに連れて、法則も変化する。自然の法則は、環境を構成している諸事物と同時に進化するものとして考察されるべきである。ⅳ）或る範囲内で帰納法は信用出来る。我々がその本性を部分的に理解している諸々の存在から環境の大部分が構成されているとすれば、その環境を支配している法則について我々は幾らかの知識を持つことになる。ⅴ）内在説は次のような形而上学説を前提にする：つまり、諸物の諸性質は諸物が相互に関係し合っていることの結果であり、逆に、諸物が相互に関係し合うのは諸物の諸性質の結果である。ⅵ）内在説は徹頭徹尾、合理主義的である。それは自然理解の可能性を説明する。

この内在説と対極の位置にあるのが②の賦課説である。賦課説は、「存在するために他の如何なるものをも必要としない」というデカルトの「実体」の概念[9]から自然に帰結する。そのような実体としては神しか考えることが出来ない。一方、物体とは、その本性が延長のみの存在である。かくて、賦課説によれば、法則とは、全く受動的な自然の構成要素に対して神が賦課する条件以外の何者でもない。この賦課される行動のパターンが「自然の法則」という訳である。ニュートンは『自然哲学の数学的諸原理』で、「この、太陽、惑星、彗星の壮麗極まりない体系は、至知至能の存在の深慮と支配とによって生ぜられたのでなければ他にあり得ようがない」[10]と述べている。このように、法則とは「外的関係」（外から課せられた関係）であるから、そうした法則を如何に研究したところで関係項そのものの本性は発見出来ないし、逆に、そうした本性を調べても法則は発見出来ない。

この賦課説は、ガリレオやデカルトやニュートンが近代科学を最終的に大勝利の途に送り出したところの、自然についての単純化された概念を構成している。

この説から、自然の法則は厳密に守られるということが帰結する。神が「光あれ」と云われたとき、そこには光があったのであり、単なる統計的平均があったわけではない。統計的な考えというものは、課せられた法則には当て嵌まらない。しかし、個々の観察の及ぶ範囲を越えて一定不変の法則が存在するなどということがどうして信じられたのだろうか、とホワイトヘッドは問うている。

次に、19世紀前半に定着し、今も影響力を振るっているのが③の記述説である。それは「実証主義」の説と云ってもよい。ここでは、観察された事実を出来る限り単純に記述することが要求される。「理解する」とは「記述が単純だ」ということに他ならない。この説はエピクロスまで遡れる。また、ニュートンの万有引力の法則を指導しているのもこの考えである。質量の積や距離の二乗ということは、観察された事実の表現に過ぎない。ニュートンは思索を巡らしたわけでも、説明したわけでもない。惑星の運動や石の落下は、とにかく直接に測定されて来た限りにおいてはニュートンの「法則」に従う。

実証主義はヒュームを自らの先導者として立てた。ヒュームが強調したように、本来、実証主義の立場では、未来についての推測を試みてはならない。然るに、どうしてか、実証主義は、未来の推測に、「統計」という数学上の神秘が役に立つのだという奇妙な思い違いをしている。しかし、統計学は、統計の形態の恒常性（斉一性）を仮定しなければ、未来について何も告げてはくれない筈である。

④の規約解釈説は、数学は専ら思弁的関心によって発展するが、そうした数学によって自然が解釈されるという事態に例証される。例えば、自然対数の底の虚数乗という、自然のうちに対応する存在を全く考慮せずに考案されたものが後に量子力学に応用されたということの裏には、法則とは規約的な解釈だという考えがある。

さて、ホワイトヘッドによれば、ニュートン物理学は、夫々に独立な個体性ということに基礎を置いている。石は、他の物質との関連を度外視しても十分に記述され得るものと考えられている。ニュートン力学は、専ら「外的関係」と「単に位置を占める」こととに徹した学説である。このニュートン的考え方は、その後、少しずつ放棄され、解消されて来た。「関係」について云えば、最早、関係は普遍者ではない。関係は関係項の性質を変様させるのと同時に、関係項が関係の性質を変様させると考えられている。「位置」については、現代物理学は、星とか物の塊とか分子や電子などの物理的事物は、単に位置を占めているのではなく、全領域に広がっている時空内の諸条件の変様であると見做されるようになった[11]。

こうした考えを、大筋は内在説に沿いつつ、具体的に展開したのが『過程と実在』である。そこでは、宇宙を構成する最終的な実在的事物は、「現実的実質」とか「現実的契機」という概念で捉えられる[12]。何かもっとリアルなものを見出そうとして、現実的諸実質の背後を探索しても無駄である。神も一つの現実的実質であるし、瑣末な石ころもまたそうである。これらの現実的実質は、複合的かつ相互依存的な経験の滴 (drops of experience) である。現実的諸実質は、相互の「抱握 (prehension)」によって、相互に含み合っている。抱握とは、客体として与えられたものをそのまま主体自身の内に受容する働きのことである。

主体である現実的実質は、それ自身の環境的世界の中に置かれて、それによって限定されつつ、自らを限定する「過程」である。この過程が終息すると、それは、後続する現実的実質に与件として客体化される。客体化されるということは、後続する現実的実質にとっての環境的世界を構成する一つの「実在」となることである。そして、この「実在」は、後続する現実的実質の「過程」の中に与件として受容される。このように、「過程」は「実在」となり、「実在」は「過程」となって行く。こうして、世界は、「過程」と「実在」との絶えざる交替変化のうちにある現実的諸実質を通して、自らの秩序を形成しながら、不断の創造的前進のうちにある。

現実的実質が過程として、世界を自らのうちに受容しつつ、自己を限定する限り、世界は当の現実的実質の内にあると云える。しかし、この現実的実質が自らを実現し終り、後続するものの世界の一部として客体化される限り、それは世界の内にある。かくて、現実的実質が過程と実在の交替変化のうちにあるということは、それが世界を含みつつ、世界に含まれることに他ならない。

ホワイトヘッドは、「過程と実在」と題する短い講演の中で、次のように述べている[13]：「…世界は移ろいつつ消滅するのであり、消滅しながらも依然として自らを超えた未来の一要素であると云える。『過程と実在』の殆ど全ては、アリストテレスの生成の分析と同じレベルで、消滅を分析する試みとして読まれ得る。過去の抱握の観念は、過去とは消滅する要素であり、そのことによって彼岸の状態の要素であり続け、このようにして客体化されるということを意味する。」

ホワイトヘッドによれば、世界はこうした仕方で、自らを形成しつつある「延長的連続体」である。延長的連続体とは、全ての潜勢的な客体化がその場所を見出す一つの関係的

な複合体である。それは過去、現在、未来にわたって、世界の全体の根底にある。この延長的連続体は、世界の過程全体を貫く一切の可能な立脚点の連帯性を表現している。それは世界に先立つ事実ではない。全ての現実的実質は、この連続体の諸決定に従って関係づけられる。現実的諸実質は、延長的連続体を原子化する。この連続体は、自体的には、単に分割のための潜勢態に過ぎず、現実的実質がこの分割を遂行するのである[14]。

このような世界観においては、世界の内のどれ一つをとっても、それだけで自存しているものはない。どれもみな、他の全てのものと関係を持っている。世界とは、「成り」、「滅し」、「有る」現実的諸実質が、互いに「因」となり「果」となって生成流転しているところの延長的連続体である。

現実的実質は、現在における経験の直接的主体であるが、「過去」は原因として、あるいは記憶という形で、「未来」は予想という形で、夫々「現在」に内在している。現実的実質は、こうした現在において、それ自身の環境的世界によって限定されると同時に、自らを限定しながら、云い換えると、過去を記憶として保持し、未来を予想しながら、被限定即能限定的に「新しさ」を創造して行く。そしてそれは、こうして創造した新しさを、それがそこから出て来た世界に付加し、貢献するのである。

現実的実質が過去的世界から由来し、未来的世界に移行して行く限り、そこに「連続性」がある。他方、それが持続する瞬間において新しさを創造し、「原子的個体性」を実現する限り、そこに「不連続性」がある。現実的実質は、連続的であると同時に、不連続的である。

以上のように、ホワイトヘッドの説は、全ては相互依存関係によって決まるという縁起の説に哲学的基盤を提供する。本項でホワイトヘッドを取上げたのもそうした理由からであるが、しかし、一方で、ホワイトヘッドの説には縁起の説と決定的に異るところがある。それは「神」である。ホワイトヘッドは『観念の冒険』で次のように云う[15]。

> 結局、何らかの〈賦課法則〉の概念を離れては、内在説は、なぜ宇宙が法則なき混沌へと着実に後戻りして行かないかという理由を、全く提供出来ない。事実、〈内在〉説に従って理解される〈宇宙〉は、それと残余の事物との相互的な関与が不可避的に秩序へと向う傾向を保証するような或る安定した現実態を含むものとして示されなければならない。

この「現実態 (actuality)」が、『過程と実在』で一つの現実的実質だとされた「神」に他ならない。そこでは次のように云われる：「原初的として見られると、神は潜勢態の絶対的な富の無制限な概念的実現である。こうした様相において、神は一切の創造に先立つのではなく、一切の創造とともにある。」[16]

夫々が夫々を支え合っているだけでは一切は混沌へと向わざるを得ないのか。それに対して、「否」と答えたのがプリゴジンである。平衡から遠く隔たった系においては、秩序が自発的に生まれて来る。

**(4)靴紐仮説**

プリゴジンの説については次節で詳しく見ることにして、その前に、量子論では相互依存の縁起説がどのように扱われているかを見ておきたい。

物理学は物質の「基本的構成要素」を探し求め、原子、原子核、そしてハドロン（陽子、中性子など、強い相互作用をする粒子）が次々と「素粒子」と見做されて来た。しかし、こうした粒子はその都度それ自体が複合物であることが明らかにされ、物理学者の期待はいつも裏切られた。そこへ登場したのが、チュー(Geoffrey Chew)による「靴紐(boots strap)仮説」である[17]。前に述べたように、これは靴紐を引っ張って自らを持ち上げようとする男に因んで命名された。この仮説によれば、自然は素粒子とか基本的場のような根源的実在には還元出来ない。自然は自己調和という形で専ら理解されなければならない。物理学の構成要素が互いに、そしてまたそれらが全体として満たすべき条件はただ一つ、「整合的」であること、である。この新しい世界観では、宇宙は相互に関連し合った出来事のダイナミックな織物と見られる。この織物においては、如何なる部分の特性も根源的ではない。それらは全て他の部分の特性に従うもので、その相互関係の全体的調和が織物全体の構造を決定する。このように、靴紐仮説は、物質の基本的構成要素の存在を否定するだけでなく、基本的法則や基本的原理さえも認めない。

ところで、靴紐仮説によれば、全ての自然現象は相互に関連しており、どれを説明するにも他の全てを理解する必要がある。それは明らかに不可能であるが、それでも、比較的小さな規模で部分的に成功する一連のモデルを描くことは出来る。各モデルには未だ説明されていない側面ないし補助変数を含む。しかし、一つのモデルの補助変数は別のモデルによって説明されてよい。このように連鎖的なモデルのモザイクによって、次第に多くの現象が網羅され、正確さも高まって行くだろう。

この靴紐仮説から生まれる素粒子像は、「どの粒子も他の全ての粒子から成る」と云われるが、それは、素粒子が独立した実在ではなく、進行中のダイナミックな過程の中の相互に関係したエネルギーのパターンであり、これらのパターンが互いに相手を「巻き込む」ことを表している。前に見たように、靴紐仮説の観点に立てば、素粒子には夫々三つの側面がある：①複合体、②構成要素、③構造を維持する力。即ち、全ての素粒子は、他の素粒子を構成要素とする複合体であり、どの素粒子も他より基本的という訳ではない。そして、その構造を保つ束縛力は粒子の交換という形で出現し、交換された粒子もまた素粒子なのである。云いかえれば、個々の素粒子は他の素粒子の生成に力を貸し、生成された素粒子はもとの素粒子を生成する。物事は相互依存によってその存在と性質を引き出すのであって、それ自体は空である。だから、靴紐仮説の描く世界は、「縁起の故に無自性、空」の世界である。

このように、靴紐仮説によれば、夫々が夫々を支え合うのであるが、それは、結局のところ、全体が個を含むと同時に個が全体を含むということでもある。何故なら、個はそれ単独では存在し得ず、全体があっての個であるからである。こうした考え方は自然に対する新しい数学的捉え方を要求する。個々の要素が、その他全てのどの要素にとっても内部でもあれば外部でもあるという見方である。

時空についても、それを他の事物と区別し、特別扱いして、最初から存在するものと考えてはならない。時空も他の事物と一緒に、高度な複雑さ、秩序の中に姿を現して来るのである。物体、観測者、電磁気、時空―こういったことはみな相互に結びついている。まず時空から始め、その上に客観的なリアリティの世界をつくろうとしても無駄である。

全ての科学的概念と理論は真のリアリティに対する近似であり、それらは或る範囲の現

象に対してのみ有効である。どの理論もどれ一つとして堅固な基盤の上に立つものではなく、一歩進めば謎も一歩深まるではあろうが、それでも進んで行こうというのが靴紐仮説の主張である。

最後に、我々の言語そのものが靴紐原理に依っていることを付け加えておきたい。夫々の単語は互いが互いを定め合っているのであり、そのことは辞書の構成を見れば明らかである。「〈左〉とは〈右〉の反対である」とあるので、〈右〉を見れば、「〈右〉とは〈左〉の反対である」と書いてあったという程には極端でないにしても、単語の意味を定めるのは他の単語であることに変りはなく、それとは別に何かベースとなるものがある訳ではない。同じようなことは数学にもある。〈点〉や〈線〉は定義されず、それらは、「二点は一直線を決定する」という関係（公理）を通して間接的に定められるだけである。

言葉との関係で云えば、靴紐仮説はクロスワードパズルにも喩えられる。縦のヒント、横のヒントが支え合って各桝目の文字が定まる。この宇宙は超高次元のクロスワードパズルの世界である。様々な方向に走る関係の交叉として物事は生起する。

## §2. 自己組織化

ホワイトヘッドの云うように、夫々が夫々を支え合うだけでは、系は混沌へと向わざるを得ないのか。これに対して、プリゴジン（Ilya Prigogine、1917-）は、平衡から遠く隔たった系においては、秩序が自発的に現れることを示した。エネルギーの絶え間ない散逸の中から立ち現れる構造として、プリゴジンが打ち出したのが「散逸構造」という概念である。散逸構造では自己組織化という現象が見られる。自己組織化には、必然と偶然とが一体となって働いている。しかし、それはどういうことなのか、また、それはどういう仕組で生じるのか。これらを見るのが本節の目的であるが、先ずは、そうした問題の底に横たわるエントロピーの問題から始めよう。

### (1)エントロピー

我々が経験する地上の現象は全て不可逆である。その物理的原因を一口で云えば、それはエネルギーの散逸である。このエネルギー散逸による不可逆性は、「熱力学の第二法則」あるいは「エントロピー増大の法則」として定式化されている。不可逆的な変化は、ミクロ世界の乱雑さの度合を表すエントロピーという量の生成を意味している。エントロピーは、エネルギーと同じように、系の間でやり取りされる。しかし、エネルギーの総量が不変に保たれる（「熱力学の第一法則」あるいは「エネルギー保存の法則」）のに対して、エントロピーは系が平衡に達しない限り生成され、総量は増大する。

エネルギーと違い、エントロピーの概念は捉えにくい。そこには偶然や確率をどう解釈するかという問題が絡んでいる。まさに小論のテーマの根幹に関わる問題である。

エントロピーは乱雑さの度合を表すというが、もともとは熱力学上の概念として、1854年に、クラウジウス（Rudolf Julius Clausius、1822-88）によって導入されたものである。その定義によれば、絶対温度 $T$ の物体が、その温度に観測可能な変化を引起さないほど微量な熱量 $\Delta Q$ を受取ったとき、この物体のエントロピーの変化 $\Delta S$ は $\Delta Q/T$ に等しい。クラウジウスは、「熱はそれ自体で、つまり或る外界の媒体による仕事の履行なしに、低温物体から高温物体へと移ることはない」という命題を熱力学の第二法則と呼んだ。エントロ

ピーの概念を使えば、この第二法則は次のように表される：「孤立系ではエントロピーの変化の総量は常に正の値を取る」。（孤立系とは、周りの環境との間で、物質とエネルギーのどちらも交換しない系である。）例えば、絶対温度が $T_1$、$T_2$（$T_1 < T_2$）の物体から成る孤立系において、$T_1$ の物体の受取る熱量を $\Delta Q$ とすると、$T_2$ の物体の受取る熱量は $-\Delta Q$ であるから、エントロピーの変化の総量は（$\Delta Q / T_1$）＋（$(-\Delta Q) / T_2$）であり、これは確かに正である。

第二法則によれば、孤立系のエントロピーは増大するので、時間の経過とともにいずれ最大値に達する。それが平衡状態である。つまり、孤立系にとって、平衡は非平衡状態のアトラクターである。孤立系では、エントロピーはアトラクターとして振舞う。

さて、問題は、こうした熱力学の定式化は力学と両立可能なのか、ということにある。19 世紀には殆どの科学者がこれは不可能だと考えていた。熱力学の原理は、従来の物理学には帰着させることの出来ない新しい科学の基礎をなす新しい法則である、と。これは「エネルギー論者（エネルゲティーク）」の主張であり、これと対立するのが「原子論者（アトミスティーク）」の主張である。原子論者は、自然現象の複雑さは力学の運動法則に還元出来ると考えた。

ボルツマン（Ludwig Boltzmann、1844-1906）はアトミスティークの代表的論者である。彼は、「軌道」の物理学を、熱力学によって記述される「状況」をも対象として含むように拡張するためには、新しい概念を構築しなければならないと考え、マックスウェル（James Clerk Maxwell, 1831-79）の足跡を辿りつつ、この概念の革新を確率論の中に探した。物理学の中に、近似の手法としてではなく、説明原理として確率の導入を企てたのである。

マックスウェルは、系の分子全体で見たとき、個々の分子の衝突の効果が相互に打ち消し合うような、分子の速度分布は何かを問い、ガウス分布がこの熱力学的平衡状態という特別な状態を生じさせることを証明した。これに対して、ボルツマンは、平衡状態だけでなく、平衡への時間発展をも解明しようとした。エントロピー増大に対応する分子機構を発見したかったのである。彼の取組は、個々の分子の軌道ではなく、集団としての振舞を問題とするものであった。それは、自然淘汰は個体にではなく集団に対して働くというダーウィンの発見に倣うものであり、ボルツマンは物理学におけるダーウィンを目指した。

以上を今日の慣用の記号を用いて表すと、マックスウエルの見つけた気体分子の速度分布関数 f は、気体分子の質料を m、速度を（$v_x, v_y, v_z$）、絶対温度を T、ボルツマンの定数を k として、

$$f(v_x, v_y, v_z) = C \exp((-m/2)(v_x^2 + v_y^2 + v_z^2)/kT)$$

で与えられる。そして、ボルツマンは速度分布関数が分子の衝突によって時間的に変わると考え、その変化に対して

$$\delta f / \delta t = A[f] + \Gamma[f]$$

という形の方程式（ボルツマン方程式）を与えた。ここに $A[f]$ は、分子の自由運動による変化で、f について線形である。$\Gamma[f]$ は分子相互の衝突による変化で、一般には f について非線形の積分である。ボルツマンの独自性は、後者の衝突による効果の研究にある。ボルツマンは、上記のボルツマン方程式を使い、

$$H = \iiint f \log f \, dv_x dv_y dv_z$$

で定義された関数（H 関数）が $dH/dt \leqq 0$ であることを証明した（H 定理）。更に、彼は、

このHが、クラウジウスの定義したエントロピーSとの間に、

$$S=-kH$$

という関係にあることを示した。

Hが時間とともに単調減少する（$dH/dt \leqq 0$）ことは、その後、数多くの数値計算で確認されており、それらの結果は全てボルツマンの予測を支持している。しかし、彼の業績が真に偉大なのは、可逆現象と不可逆現象との区別という概念上の問題においてである。自由運動による速度分布の変化は可逆部分に相当し、衝突による寄与は不可逆部分に相当する。ボルツマンにとって、これはエントロピーの微視的解釈に到る鍵であった。

ところが、この論文（1872年）が発表されるや、反論が巻き起こった。ボルツマンは本当に力学から不可逆性を導出したのか。軌道の可逆法則がどうやって不可逆な時間発展を生み出すのか。1876年にロシュミット（J. Loschmidt、1821-95）は「速度反転パラドクス」を示した。全ての粒子の速度を逆向きにすれば（そのような初期状態を想定すれば）、夫々の粒子はそれまで辿って来た軌道を逆向きに進み、もとの非平衡な状態が復元されるだろう、と。

こうした厳しい批判を受けて、ボルツマンは、不可逆性は我々人間の側の情報欠如—無知—に基くというエントロピーの主観論的解釈に後退した。

ここに左右二つの等しい部屋に仕切られた箱があるとしよう。この箱の中にN個の分子（互いに識別可能とする）が存在し、各々の分子は左右の部屋を自由に往来出来るとする。或る瞬間に、左の部屋に$N_1$個、右の部屋に$N_2$個の分子が見出される「場合の数」は

$$D=N!/N_1!N_2! \qquad (N=N_1+N_2)$$

である。Dが最大となるのは、分子が左右の部屋に同数（$N_1=N_2=N/2$）存在するときである。どちらか一方にひどく偏った配置は、極めて起り難い。$N=8$の場合には次のようになる：

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 左の部屋の分子数 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| 右の部屋の分子数 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 場合の数D | 1 | 8 | 28 | 56 | 70 | 56 | 28 | 8 | 1 |

これはNが僅か8の場合であるが、Nが大きくなると、左右の分子数がほぼ等しくなるケースが圧倒的に多くなる。確率論の計算によれば、左右の粒子数が$N/2$を中心に$\pm 1.5\sqrt{N}$内に入る確率は99.7%以上である。箱の中の気体分子数を$N=10^{24}$とすると、$1.5\sqrt{N}$自体は$10^{12}$のオーダーで極めて大きいが、中心の値に対する比では$1.5\sqrt{N}/(N/2)=3/\sqrt{N}$であり、これは$1/10^{12}$のオーダー、即ち、百万の百万倍の一に過ぎず、殆ど零に等しい。

1877年、ボルツマンはこのDをもとに、熱力学的な定義に較べてより一般的なエントロピーSを　$S=k \log D$　に相当する式によって導入した。即ち、系は、場合の数Dが最大となる状態—左右の部屋にほぼ同数の分子が配置された状態—に向って、エントロピーを増大させる。つまり、系は、系にとって最も実現しやすい状態へ向って発展する。最も実現しやすい状態とは、系内で同時に起っている多数の出来事が、統計的に相互に打ち消し合うような状態であり、上の例では、どの瞬間にも、平均的には、左に行く分子数と右に行く分子数とが等しいような状態である。

こうして、左右の分子数がほぼ同数の配置に落着くのであるが、これをもう少し詳しく

云えば次のようになる：今、仮に、左の部屋Lには800個の、右の部屋Rには200個の分子があったとしよう。単位時間内に、Lの分子数の一定割合がRへ移動し、逆にRの分子数の一定割合がLへ移動するだろう。この割合は両者で異る理由は何もないから同一だとしてよい。そこで、仮に1割だとしよう。そうすると、LからRへ移動する分子は80個であり、RからLへ移動する分子は20個である。結局、単位時間後には、LからRへ移動した分子の方が差引き60個多いことになり、それだけ左右同数の状態に近づく（左の部屋に740個、右の部屋に260個)。次の単位時間についても同様であるから、こうしたことを繰返して行けば、遂には左右同数（500個）に落着くだろう。それ以降は、Rへ移動する分子数とLへ移動する分子数は均衡する（ともに50個)。

しかし、何故これが「主観論的」解釈と呼ばれるのか。それは以下のような事情による。つまり、もしも我々に個々の分子の運動を追うことが出来るとすれば、そこに見出すのはニュートン力学に従った可逆的な軌道の筈である。しかし、我々の能力は限られている。我々は個々の分子の軌道はおろか、どの分子がどちらの部屋にいるかということすら知らない。ただ出来るのは、夫々の部屋の分子「数」を記述することだけである（夫々の部屋の分子数は夫々の部屋の圧力として現れるが、この圧力は我々にも測定可能である)。個々の分子がどちらの部屋にいるかということは系の微視的状態であり、部屋の分子数で記述出来るのは系の巨視的状態である。夫々の巨視的状態に対応する微視的状態の数の間には大きなばらつきがある。僅かN＝8の場合でも、上で見たように、九つの巨視的状態に対応する微視的状態の数は最小1から最大70まで、大きなひらきが存在する。左右がほぼ同数であるような巨視的状態を齎す微視的状態が圧倒的に多いので、我々は、左右がほぼ同数の巨視的状態に系が引き寄せられると見るのである。

我々人間が目に出来るのは巨視的状態だけである。もしも人間に微視的状態を見る能力があったとすれば、夫々が等しい確率を有する微視的状態のうちのどれか一つが実現したということに過ぎない。N＝8の例で云えば、全部で256個ある微視的状態は、そのどれもが1／256の確率を持つ（$2^8=256$)。トランプで云えば、トランプをよく切ったとき、カードはランダムに並ぶ。しかし、例えば9、4、13、7、…という並びは、1、2、3、4、…という並びと同じ確率である。このようにボルツマンの再解釈によれば、不可逆性は、自然法則なのではなく、単に、我々人間による観測の有する近似的かつ巨視的な性格からの帰結なのである。

この解釈は、我々のなす近似―「粗視化」―を通じて、我々が宇宙の進化発展的性格の原因となっているという見方である。それは、現在でも見られ、例えばゲルマンは次のように述べている：酸素と窒素の気体分子において、混ざり合う方が分離しているよりも、場合の数が多い。偶然が働いている限り、何らかの秩序を持つ孤立系は、遥かに多くの可能性を持った無秩序へと向って行く。ところで、これらの可能性はどのように計算されるのだろうか。完全に記述された孤立系は、しばしば微視的状態と呼ばれる、非常に多くの状態をとり得る。…これらの微視的状態は、粗視化によって区別される種々の特性に基いて、幾つかのカテゴリー（巨視的状態と呼ばれることがある）にグループ分けされる。或る巨視的状態に属する微視的状態は互いに等価だとして扱われるので、それらの個数だけが問題となる[18]。

このような方法で計算されたエントロピーは、どの大きさの尺度を選んだか（どの程度

まで粗く見るか）によって変化し、エントロピーの変化は客観的なものだとする熱力学と対立する。粗視化が機能するのは、或るレベルで近似法を導入し、それより下で起っていることを無視することによってである。しかし、これでは、可逆的な微視的世界がそこで終り、不可逆な巨視的世界がそこから始るような、恣意的な境界があるということになってしまい、過去から未来へという時間の向きも、この主観的な領域でのみ存在することになる。

ところで、ボルツマンの第一の論文に対する批判としては、ロシュミットのほか、ツェルメロ（Ernst Zermelo, 1871-1963）による「再帰パラドクス」もあった（1896年）。それは、「もしも我々が十分に長い時間待つならば、動力学系は我々が望むだけ初期状態に近い状態へと独りでに回帰することを観察出来る」というポアンカレの再帰定理に基くもので、ツェルメロは、気体分子の運動は実質的に周期的になっており、その意味でボルツマンのH関数が一方向にのみ変化することはあり得ず、いつかはもとのHの値に戻ることになると主張した。これに対して、ボルツマンは具体的な例について再帰に要する時間を計算し、それが人間の経験し得る時間に比べて圧倒的に長いことを示した。つまり、回帰する迄には極めて長い時間がかかるということで不可逆性を説明したのである。この証明もまた我々人間の無知・近似が不可逆性の原因になっているという見方へ後退したことを示す。

不可逆性に対する以上のような主観論的解釈に対して、プリゴジンは次のように批判している：このような解釈は、不可逆過程が熱機関の動作における摩擦や損失に対応する単なる邪魔者と見做されていたときには受容れることが出来た。しかし、今日では、不可逆過程は計り知れない建設的な重要性を持っている。生命はこれなしには不可能だろう。従って、主観論的解釈は非常に疑わしい。単に、我々の無知や、我々が巨視的状態しか観察しなかったことの結果が我々自身なのであろうか[19]。

不可逆性は我々の無知や近似が生み出したものだと主観的解釈は云うが、我々こそが不可逆性から生み出されたものなのである。ボルツマンは最初の論文で確率を基本に据えてエントロピーを論じたが、その方向こそが正しい。いまや中心的な役割を果すのは確率である。確率は他のものには還元出来ないし、還元する必要もない。これがプリゴジンの主張である。これについては次項で詳述する。

さて、ボルツマンがエントロピーの主観論的解釈に後退したのは、ロシュミットの批判によるところが大きかった。では、主観論的解釈をとらない場合、ロシュミットの批判にはどのように答えられるだろうか。

$t=0$ から $t=\tau$ まで時間が経過した後に、全ての分子の速度の向きを逆向きにしてやれば、$t=2\tau$ には $t=0$ のときと同じ状態に戻るではないか。これがロシュミットの批判であった。確かに、完全に孤立した系ではその通りであろう。しかし、現実には、宇宙の他の部分と如何なる相互作用もしないような系は存在しない。$t=\tau$ で速度をそっくり反転させたとしても、$t=0$ から $t=\tau$ までと、$t=\tau$ から $t=2\tau$ までとでは、周りの状況はすっかり変ってしまっているだろう。だから、系はもとの状況に戻ることは出来ない。

これには初期条件への強い依存性が絡んでいる。不可逆性を理解する上で初期条件への強い依存性が重要な役割を果すということは、ボルツマンの時代には知られていなかった

のである。例えば、池に石を投げ入れた場合を考えて見よう。池の中央から岸へ到達した波の動きを逆転させるためには、池の縁で無限に正確な精度を持った波を生じさせ、全部の波が池の一点にぴたりと集まるようにしなければならない。しかし、それは、池が外界に開かれているために、不可能である。仮に、池の縁での初期条件を完全に整えることが出来たとしても、波が一点に集る前に外界からの乱れが入って来てしまうだろう。結局、このように、宇宙はどの部分をとっても相互に関係し合っているということが時間の向きを一方に決めているのである。

では、ボルツマン自身は「時の矢」をどう見ていたのだろうか。ボルツマンは、先のツェルメロなどの批判を受けて、時の矢は、客観的な過去と未来の区別が全くない宇宙に、我々生き物が持ち込む申し合わせに過ぎないと主張するようになった。つまり、宇宙は全体として時間の向きは区別されていない。それは空間自身に上下の区別がないのと同じである。しかし地球の表面に住む我々は、地球の中心に向う方向を下向きと呼ぶ。それと同様に、宇宙全体の大きさと時間的長さに較べて十分小さく短い領域に或る期間居合わせた生物は、時間の方向を、起り難い状態から、より起り易い状態へと向うと決めることが出来る。これが過去から未来への方向である。

ボルツマンはこのような見方に到ったのであるが、ではその後、時の矢はどう見られるようになったであろうか。これについてはプリゴジンの主張を次項で見ることにして、本項では、最後に、エントロピーと情報の関係を見ておきたい。

ロシュミットなどの批判を受け、ボルツマンが、エントロピーSを、場合の数Dをもとに $S = k\log D$ と解釈し直したことについては既に述べた。この $\log D$ の意味であるが、N個の分子が左の部屋に $N_1$ 個、右の部屋に $N_2$ 個配分される場合の数が $D=N!/N_1!N_2!$ であった。例えば $N=8$ とし、左の部屋に7個、右の部屋に1個配分される場合の数は $D=8$ である。これは左に7、右に1という配分―巨視的状態―に対応する微視的状態が8つあることを示す（右の部屋に配分される1個は、8個のうちのどれでもよい）。では、現にいま実現しているこの巨視的状態は、その8つの微視的状態のうちのどれであるかを特定するには、「二十の扉」式に問い詰めて行くとして、最低何回の質問が必要であるか、それを示すのが $\log D$ である。今の場合、$D=8$ であるから質問は少なくても $\log D=3$ 回必要である（$2^3=8$ に注意（対数の底は2とする））。例で示そう。8つの微視的状態に1番から8番迄の番号がつけられているとして、

- 「それは1番から4番迄のどれかですか」　「いいえ」
- 「では、それは5番、6番のどれかですか」　「いいえ」
- 「では、それは7番ですか」　「いいえ」

こうして、それが8番の微視的状態であることが $\log D=3$ 回の質問で突き止められたのである。他の番号の微視的状態であったとしても、同様に、3回の質問で特定出来る。

かくて、エントロピー $S=k\log D$ が増加するということは、どの微視的状態かを特定するのに必要な質問回数が増える方向に系が向うということである。多くの質問回数を要する状態というのはそれだけ多くの情報量を持っているのだと解釈すれば、ここで、エントロピーと情報量が結びつく。

情報の量は通常、確率pに対し、$\log(1/p)$ によって定義される。これは、エントロピ

一の主観論的解釈で云えば、巨視的状態の中から、特定の微視的状態に達するための二者選択の回数（二十の扉の質問回数）であり、つまりは或る巨視的状態の中での微視的状態の特殊性を表す量である。それは情報の受信者の側から云えば、不確かさが、通報を受けることによって解消される程度を表す。

このようにエントロピーを情報と関係づけるのは、不可逆性―系の進行を特徴づける時間的非対称性―は観測者のせいだという主観的解釈を一層強めることになったと、プリゴジンは指摘している[20]。

### (2)自己組織化

エントロピーという言葉はもともとギリシア語の「発展」に因んでクラウジウスがつくったものであるが、この「エントロピー＝発展」という等式こそは、プリゴジンの思想を端的に表わしている。

少年は老い易く、覆水は盆に返らない。我々が日常経験するのは時間的に不可逆な世界である。ところがニュートン力学では、時間が反転可能なのである。ニュートン力学の運動方程式や量子力学の波動関数は、何れも時間的に可逆である（ｔを－ｔで置換えても方程式は変わらない）。ニュートン力学においては、時間は、「存在」を記述するための幾何学的なパラメターに過ぎない。そこでは、過去と未来は同じ役割を果し、初期条件さえ与えられれば、全ては決まってしまう。過去も未来も全てが現在に含まれるから、そこでは、進化と結びつくようなものは何も存在し得ない。力学は「生成」を扱わない。自然の基本法則とされる力学の方程式の描く世界が、このように、我々の日常経験する世界と全く逆になっているとは驚くべきことである。

一方、熱力学では、第二法則によれば、可逆過程はエントロピーを不変に保つが、不可逆過程はエントロピーを増大させる。我々の経験するところでは、自然界では、不可逆過程の方が通例なのであり、可逆過程は例外に過ぎない。というよりも、可逆過程は理想化に対応しており、例えば振子の可逆的な運動は、空気抵抗や摩擦がない場合にしか実現されない。

プリゴジンによれば、我々は、19 世紀から、ニュートン力学に基く時間的に可逆な描像と、熱力学に基く発展的描像という、自然についての二つの矛盾した描像を受継いだのであり、これらをどう調停させるかという問題は、依然として我々に残された課題である[21]。

ところで、パースは、一世紀以上も前に、次のように云っていた[22]：力は散逸という傾向に逆らえないが、偶然は逆の影響を及ぼし得る。力は長期的には散逸的であり、偶然は長期的には集中的である。エネルギーの散逸は、まさにそのことによって、偶然による再集中を有利にする。従って、そこには二つの傾向が釣り合う点がある筈であり、それこそが、現在の全宇宙の実際の状態である、と。

これは、現代の知見に通じる。つまり、エントロピーを増大させ、全てのものの運動や構造を消失へと向わせる熱力学的な駆動力そのものが、同時に運動や構造を生み出す活動性の源となっているのである。増大し続けるエントロピーは、そのはけ口がなければ、駆動力は次第に弱まり、遂には平衡状態―熱的死―に至る。しかし、系にエネルギーを加えることによってエントロピーを外部に排出し続ける限り、駆動力は維持され、系は平衡から離れた状態を保つことが出来、そこから様々な運動や構造が生まれ得るのである。そう

した構造をプリゴジンは「散逸構造」と名づけたのであった。「散逸」と「構造」とは一見相反する概念のように思われるが、それは、上記のように、エネルギーの絶えざる散逸の中から立ち現れる構造ということを意味している。

例えば、前章で見たように、振子の運動エネルギーは空気抵抗や摩擦で散逸するが、錘のついた振子時計の場合には、錘の位置エネルギーの減少分を自らの運動のためのエネルギーに変えている。それで振子の運動は減衰せずに、持続する。振子は周囲に対して開かれており、かつ平衡状態から引き離された状態にある。このような系が「非平衡開放系」と呼ばれるのであった。地球も宇宙に対して開かれており、平衡からは遠い非平衡開放系である。

系には、平衡にある系、平衡に近い系、平衡から遠く離れた系の三種がある。前二者においては、小さな入力は小さな結果しか生まないが、平衡から遠く離れた系では、外部からの影響に対して系が極度に敏感になり、小さな入力が巨大で劇的な効果を生む。前二者における現象は線形方程式で表され、後者におけるそれは非線形方程式で表される。これが「線形」、「非線形」という言葉の由来である。平衡状態では繰返しや普遍性が見られるが、平衡を離れるに従い、特異性と唯一性が現れる。

前章で、エネルギーを散逸し、エントロピーを生成するような非平衡開放系—散逸力学系—では、その発展方程式中のパラメターの値を連続的に変化させたとき、系の振舞が突如変化することがあり、そうした現象を「分岐」と呼ぶということを述べておいた。このように、分岐とは平衡から遠く離れた状態で起る現象である。分岐によって出現する、より高い秩序の構造が散逸構造に他ならず、そうした構造へと導く過程は「自己組織化」と呼ばれる。

例えば、レイリー=ベナール流と呼ばれる現象を見てみよう。これは、透明な板の間に液体を入れ電熱器の上に置くと、対流により、整然と秩序だった蜂の巣状の構造が現れる現象である。液体は加熱されればされる程、分子の動きが激しくなる筈なのに、加熱によってこのような極めて組織化された構造が出現する。この現象では、六角形の巣室が現れる温度が分岐点である。六角形の大きさは個々の分子間の距離の一億倍にもなり、夥しい数の分子が集合して調和を作り出す。このような自己組織化が起こるためには「揺らぎ」が欠かせない。系の揺らぎ（この例では液体分子のランダムな動き）は、平衡に近いところでは、囁き声のように殆ど影響を及ぼさない。しかし、フィードバックがあれば、囁き声は叫び声になり得る。平衡から遠く離れたところでは、系の非線形性によって、微視的な揺らぎが巨視的な構造（蜂の巣状の構造）に変わるのである。こうして出現した秩序は、時間と空間の両方で、夥しい数の分子が協調的に振舞うことを意味している。つまり、時間的には、個々の分子はいつ一斉に行動を起すべきかを知っているかのようであり、空間的には、「長距離相関」が現れる。巨視的な距離を隔てている分子同士が互いに関係するようになり、局所的事象が系全体に反響するのである。こうしたことは平衡状態では決して見られない現象である。これをプリゴジンは次のように表現している：平衡では分子は本質的に独立体として振舞い、互いに他の存在を無視しているが、非平衡は、彼等を目覚めさせ、「コヒーレンス」を生み出す[23]、と。

ところで、レイリー=ベナール流で出現する蜂の巣状の構造において、隣り合う巣室の液体の流れは逆向きになる。しかし、個々の巣室の流れがどちら向きになるかは、前以っ

て予測することは出来ない。ごく単純化して云うと、四つの巣室が横一列に並んでいるとして、左回りの流れをAとし、右回りの流れをBとするとき、ABABとなるかBABAとなるかは、そのときになってみないと分らないということである。分岐点において、それ迄の微視的な揺らぎが巨視的な構造に変わる丁度そのときに、二つの枝―ABABかBABAか―のどちらに行くかが決まるのである。どちらが実現するかは、実験の度に異り、確率的にしか予測出来ない。

これは「対称性の自発的破れ」と呼ばれている現象で、これを数学的に明確な形で定式化したのがチューリングである。もともとチューリングが問題にしたのは、どこから見ても一様で対称な球状の受精卵がその対称性を破って生き物の形へと自己組織化されるのは何故か、ということであった。対称性の自発的破れは自然界の至るところで見られる現象である。例えば、温度を下げて行くと、一般に液体は結晶化するが、その結晶軸は特定の方向を持つ。液体にはそのような方向性はないので、結晶軸は四方八方どの方向に現れる可能性も等しくあった筈なのに、特定の方向が突如選ばれるのである。物理法則自体はこれこれの状態が可能だというだけであり、そのうちのどれが実際に出現するかは告げない。法則は対称なのに結果は非対称なのである。

さて、以上のような自己組織化の現象が典型的に見られるのが、非平衡的な化学反応である。例えば、A、Bから、中間生成物X、Yを経て、C、Dが合成される過程を考えよう。A、Bは反応装置に流れ込み、C、Dは反応装置から取り除かれる。この過程の或る段階でX分子二個とY分子一個とが結合して、X分子三個が作られるとする。X分子は自らの生成に関与するので、自己触媒と呼ばれる。系の自己組織化―非線形フィードバック―は、この自己触媒によって起こり得る。装置内のX、Yの濃度はA、B夫々の注入量によって変化する。Xは赤く、Yは青いとしよう。平衡状態では赤と青は混ざり合って装置内は紫色を呈し、変化は起らない。平衡状態は固定点アトラクターである。次に、A、B夫々の注入量を変えて平衡状態から次第に遠ざけて行くと、ある点―分岐点―から先においては、装置内は規則的に、赤→青→赤→青→…と変化する。これが「化学時計」と云われる現象である。装置に追加されるA、Bの量が僅かに変化したとしても、装置内の状態は、規則的な色の変化のサイクルに常に戻る。つまり、このサイクル（リミットサイクル）は、平衡から遠く離れた状態でのアトラクターである。分子間相互作用は$10^{-8}$cmの程度を越えることはない。しかし、分岐点から先の、平衡から遠く離れた状態では、装置内の全ての分子が互いに「コミュニケーション」し、いつ青になり、いつ赤になるかを知っているかのように振舞う。つまり、各分子に系の全体的状態についての情報が伝えられているかのように、系は構造化されている。これがコヒーレンスであり、散逸構造の持つ際立った特徴の一つである。

ベルーソフ=ジャボチンスキー反応（Belousov-Zhabotinsky reaction）では、時間的なパターンに加えて、空間的なパターンも出現する。前者は化学反応の速度に関係し、後者は化学物質の拡散速度に関係するので、こうした現象を扱う理論は反応・拡散理論と呼ばれる。夥しい数の分子の活動から出現する、こうした秩序は、ボルツマンの「場合の数」で云えば、まさに起る筈のないこと、極めて起り難いことが起ったことを意味しており、ベルーソフの発見（1950年）は最初、学会から相手にされなかった。当時の科学者は、熱力学の第二法則とは「秩序は一様に無秩序になって行く」ことだと、素朴に信じ込んでい

たのである。こうした現象が注目され出したのは70年代に入ってからであり、現在では、平衡から遠く離れた非線形過程が、ときに、不可能と見える状況を生み出すことは広く知られている。

自己組織化は生物や人間の社会でもごく普通に見られる現象である。

或る種の粘菌（タマホコリカビ）は普段は単独に生きているが、栄養が不足して来ると、何千という粘菌が集って、全体で一匹の生き物のように行動する。自己組織化が起ったのである。この「生き物」は栄養豊富な場所を求めて動き回り、そうした場所を見つけるとそこで胞子を作って散らばる。胞子の一つ一つが新しい一匹の粘菌になるのである。

シロアリの巣作りでは、シロアリが土塊を運ぶ途中で、シロアリの体から、仲間のシロアリを誘引するホルモンが分泌されて、それが土塊に浸み込む。シロアリたちはてんでに土塊を運んで来ては、地表にランダムに落とす。シロアリたちの運んで来る土塊がいつまでも均等に分布し続けることはあり得ない。土塊は或る場所には他の場所よりも少し多く集るであろう。土塊の小さな山は、いつかはどこかで、必ず形成される。そうすれば、後は、誘引ホルモンのおかげで、その山にはどんどんシロアリが集り、山は益々成長し、巣が出来上がって行くことになる。最初の揺らぎ（小さな山の出現）を決めるのは偶然であり、その後を支配するのは必然である。偶然と必然とが手を携えて、シロアリの巣という構造を作り上げる。その場合、最初の揺らぎの大きさが或る臨界値より小さい場合には、その揺らぎは減衰してしまう。巣が形成されるのは、臨界値を越えるような大きさの揺らぎが生じたときに限られる。このように、シロアリの巣の形成には、幾重もの偶然が関与しているのである。

人間社会における自己組織化のごく単純な例としては、前に述べた朝のラッシュ時の駅の群集の動きがそうである。誰が指図・命令している訳でもないのに、全体が整然と流れて行くということは、混沌から秩序が生まれているのであり、自己組織化に他ならない。

ところで、生物や生態系の進化、あるいは社会の進化などの場合には、相互作用し合う系の定義自体がその進化によって修正せざるを得なくなる場合が多い。系に新しく加わった要素が、以前からの系の構造に一定以上の揺らぎを齎すとき、系の活動は新しい文法に支配されることになる。こうして系のダイナミックな進化が可能になる。

分岐構造には系の発展の歴史が書き込まれている。分岐から分岐までは決定論的だとしても、分岐点ではほんの小さな揺らぎが増幅されることによって新しい状態が決まるので、系の歴史を作るのは必然と偶然とであると云える。各々の分岐点においては、一つの未来が選ばれ、他の可能性は永遠に失われる（対称性の破れ）。現在の我々人類を特徴づける体の形や機能は、単細胞からの進化の過程で、何万回という分岐の度に選択が繰返されて来た結果である。

前章の進化の節で見たように、全くの偶然だけに頼ったのでは、地球に生命が出現する迄には、宇宙の年齢よりも遥かに長い時間がかかったかも知れない。それが、自然淘汰という必然と手を携えることで、今、現に見られるような生物が現れたのである。それはまた自己組織化という観点から説明することも出来る。ひとたび自己組織化の条件が整えられさえすれば、生命は比較的簡単に現れ得るのであり、最近発見された事実によれば、最

古の生物化石と最初の岩石の形成とはほぼ同時だという（38 億年前)。最近の研究は、こうした自己組織化という現象が、流体や都市の成長、政治運動、星の進化など至る所に見られることを見出した。

いずれにしても、平衡から遠く離れた、複雑な系の将来を前もって知る近道は存在しない。実際に時間が経ってみないことには、どう発展するのかは誰にも分らない。それはゲーデルやチャイティンの定理にも通じる話である。

### (3)リズムと同期

空海は『声字実相義』で「五大にみな響きあり」と云う。五大とは地、水、火、風、空であり、つまりはこの世界に存在するもの全てである。空海によれば、それらはみな「響き」であり「リズム」に他ならない、と。これは、宇宙は振動する「ひも」から出来ているという「超弦理論」を思わせるものであるが、ここでは「響き」を「同期」との関係で見てみよう。

ホイヘンス（Christiaan Huygens、1629-95）は壁に並べて掛けた二つの時計がまるで示し合わせたように、歩調を揃えているのに気づき仰天した。一方の振子が左に振れるとき、他方は必ず右に振れる。当時の時計は三時間に一秒程度狂うのであるが、二つの振子は何時間経ってもズレが生じない。それどころか、わざと振れのタイミングを乱しても、暫くするとまた歩調は揃って来るのである。

第５章で述べたように、一つの時計の振子の運動は「状態空間」中の円軌道に写される。そうすると、二つの振子の間の同期・非同期の問題は、一つの円周を回る二つの状態点の間の同期・非同期の問題に帰着する。二つの振子は壁を通じて相互作用しているのであり、それは円周上の二つの状態点の間の斥力に翻訳される。その場合、最大の離反状態—位相差 180 度—が均衡状態となる。それ以上、位相差は大きくなり得ないからである。こうして、位相差 180 度という状態（一方が左なら他方は右）が安定した状態として実現される。（二つの状態点の間の引力に翻訳されるような相互作用もある。その場合には位相差ゼロが均衡状態となる。）

以上は二つのものの間の同期であるが、例えば心拍は厖大な数の細胞が協調して生み出すリズムである。メコン河のマングローブに群がる蛍は、何万という集団が一斉に歩調を揃えて発光する。発光した瞬間にあたりは真昼のようになり、その一瞬後には真っ暗闇になるという。それが一晩中続くのである。つり橋も大勢の歩行者によってうねりを生ずることがある。個々の人の歩調は全くランダムな筈であり、それらの効果は打ち消し合う筈なのに、そうはならない。この点こそが集団同期の特異なところである。個々人の歩行というリズムが互いに同期して、集団としての大きなリズムを生み出す。橋という媒体が個々人の振動間の相互作用を媒介していると考えられている。

同期という現象は、抽象的な云い方をすれば、「X によって決まる個別要素の状態の総体が X そのものを決める」ということになる[24]。このように、同期は、要素が互いに相互作用を行うことによって現れる秩序構造である。

### (4)形態共鳴

自己組織化で重要な役割を果すのが分岐という現象であった。ところで分岐により新し

い状態がその都度生まれて来るとすれば、いわゆる「法則」なるものも太初から存在しているのではないことになる。ホワイトヘッドも云っていたように、自然の法則は、環境を構成している諸事物と同時に進化するものとして考察されるべきである。地球に生物が出現する以前に、生物の法則のことは議論出来ない。古くは無線通信、比較的新しいところで半導体や超伝導の原理にしても、そういうことがあり得ると人間が思いついたときから、法則として存在するようになったのだと見ることは出来ないだろうか。自然界の秩序の背後には数学的整合性を持つ永久不変の物理学的法則があるという見方に対して、ルパート・シェルドレイク（Rupert Sheldrake）は、生物の形態とか人間が感覚によって体験するパターンなどに見られる自然界の秩序や規則性は、過去にこの世界で起きた出来事によって齎されるのだと主張する[25]。或る新しい化学物質を合成するとき最初にそれを結晶させるのは極めて難しいが、一旦成功すれば、二回目は、地球の裏側で別の人が試みたとしても、常に一回目よりは易しいことが確かめられている。そして実験が何回も繰返される程、それは容易になる。また、動物が或る行動を学習し、それが物理的接触を一切持たない同種の仲間たちに広がるという現象は広く知られている。日本でも、或る島の猿の一匹が食う前に芋を洗うことをはじめたところ、別の島の猿も同じことをはじめたということが話題になったことがある。

テレビの受像機は放送局から送られて来る電波に同調して映像を映し出しているのだということを知らない人は、映像は受像機の箱の中の多数の部品の複雑な相互作用によって生じているのだと主張するだろう。そういう人に向って、目に見えない電波などを説明に持ち出せば、オカルト的だと批判されるに違いない。

シェルドレイクは、上で述べたような現象は、ふつう遠い過去と見做されている時点の出来事が現在に直接、影響を及ぼすことから生ずると云う。全ての過去は現在の中に折り畳まれているのである。猫の胚が猫を発生させる原因は、過去に存在した猫の形態にある。発生しつつある猫の胚は、過去の猫の形態に「同調」することで、猫の形態を得るのである。そして、こうして新たに形成された猫の形態は、今度は、それ迄の猫の形態形成場にフィードバックされて、場を修正する。このプロセスをシェルドレイクは「形態共鳴」と名づけた。或ることが数多く起きれば起きる程、形態形成場は強化される。また、この形態形成場を媒介にした影響力は、通常の物理学的エネルギーとしての性質を持たないので、時間の隔たりや空間における距離によって弱められることはない。

形態形成場は過去の事物の統計的集積によって左右され、従ってそれは確率的な構造を持つ。形成場によって生じる形態は、第４章で述べたゴルトンの写真のようなものである。

形態共鳴によって過去が直接現在に作用すると考えれば、記憶を脳のなかに蓄積された記録と見做す必要はない。記憶が一種の痕跡だという考え方には、事物が時間を超えて存続するためには物質的な基盤がなければならないという前提があり、その点では後述するボームのホログラムも例外ではない。しかし、過去が現在に直接繋がっているとすれば、脳は過去の記憶と同調出来るので、記憶が脳のなかに蓄えられている必要はなくなる。

ところで、「類は類を呼ぶ」という言葉がある。仏教の説一切有部では、これは単なる喩えではなく、世界の構成原理の一つとなっている。有部の因果説によれば、因果の関係は、法（事物）と法の間に張り巡らされた網であり、それらは六因四縁五果として整理される。そのうちの「同類因―等流果」と呼ばれるものが、「似たものは似たものの因となる」

という関係である。それは時間的にいくら隔たっていても構わない。例えば、有部では、一人の人間の一生を胚から死まで、カララ、アルブダ、…、老年の十位に分けるが、カララはカララ以下十位の同類因であり、アルブダはアルブダ以下九位の同類因であり、という具合に続く。カララは、アルブダなどとともに、直接に老年に作用するのである。しかもこれは同じ一人の人間や、一つの事物のなかに限定された話ではない。違った個体、違った事物であっても、似ていさえすれば、似たものは似たものを呼ぶ。まさに「類は類を呼ぶ」のである。

説一切有部によれば法は三世（過去、現在、未来）に実有である。過去の法はどこかへ去ってしまう訳ではない。ただ作用を終えただけである。一般に、作用を終えた法が過去の法であり、現に作用している法が現在の法であり、未だ作用していない法が未来の法である。それらの法は共在している。では、作用を終えた法がどうして現在の法に影響を及ぼすことが出来るのかといえば、作用とは「取果」であり、「与果」とは別だということである。未だ作用していない法Aは未来の法として現存するが、それは、因である多数の法X、Y、…によって現在に呼び寄せられる。そのとき、法Aはその果を「取る」、即ち、未来に在る他の法P、Q、…を自らの果として指名する。それが「作用」である。しかし、そうして指名された法P、Q、…は、直ちに未来から現在に呼び寄せられるとは限らない。そのためには他にも多数の因が必要である。いまPについてそのような条件が整い、Pが現在に呼び寄せられたとしよう。そのときをもってAがPに果を「与え」たという。このように、いつ与果が起るかは予め決っていないし、ついに与果されない場合もあり得る。全ては他の因との共働関係で決まって行く。従って、全体のプロセスは決定論的に決っているのでもなく、偶然のままに漂っているのでもない。与果は、取果と同時のこともあれば、一刹那後のこともあり、遠く時を隔てることもある。時を隔てる場合には、因が果を与えるとき因は既に過去の法であるが、それは過去法として現存するので、果を与えることが出来るのである。

このように、シェルドレイクの形態形成場は、説一切有部の三世実有の世界と対応する。そして、過去が直接現在に作用するという考えは、ホワイトヘッドの「過去の抱握」にも通じる。ホワイトヘッドによれば、「過去とは消滅する要素であり、そのことによって彼岸の状態の要素であり続け、このようにして客体化される」のであった。

### §3. 統計的記述

先に述べた自己組織化は散逸力学系において見られる現象であった。散逸力学系では、状態空間内の細胞の体積は時間の経過とともにゼロになり、それがアトラクターに引寄せられるということの意味であった。それに対して、「保存力学系」と呼ばれる力学系では、状態空間の細胞の体積は一定に保たれる。それで、保存力学系では、最終的に落着く先としてのアトラクターは存在しない。しかし、一定に保たれるのは体積であり、その形状は変化してもよいので、場合によっては、最初小さな球状であった細胞が、時間とともに、どんどん薄く細く長くなり、ますます捩れ、四方八方に枝分かれし、遂には状態空間全体に浸透するというようなことも起り得る。(時間が経っても細胞の体積が変わらないことは、非圧縮性流体の時間発展と同じである。コップの水にインクの滴を落とすと、インクの体積が増えるわけではないが、インクはコップ全体に一様に広がって行く。)

この場合、最初に、状態空間中、近くに位置した二点は時間とともに指数関数的に離れて行く。それらの点がどういう経過を辿るかは、最初どこにいたかによって決まる。最初のごく小さな差が後には極めて大きな差となって現れるわけで、その意味でこれもカオスと呼ばれる。初期値の僅かな違いが結果に重大な差異を齎すので、予測が不可能となるのである。これは例えば第１章で見たパイ捏ね変換がそうであるし、ビリヤードの玉の動きもそうである。的玉に望み通りの方向への運動を与えるためには、極めて正確なショットが求められる。まして、的玉が第二の玉に衝突し、それが更に第三の玉に、というような連鎖的過程を考えれば、何回かの衝突後の玉の運動は想像することも困難である。しかし、これは気体の分子運動において、はるかに大きな規模で、実際に起っていることである。

このように、保存力学系におけるカオスとは、初期値の僅かな違いが結果に重大な差異を生むことに他ならない。軌道が初期値に極めて敏感なのである。それに対して、散逸力学系では、どこから出発しようが、最終的には落着くべきところ（アトラクター）に落着いたのであった。散逸力学系でのカオス（ストレンジ・アトラクター）は、軌道自体が不安定であることによって生じる。

さて、保存力学系として、気体の分子運動を考えよう。箱の容積を１リットルとし、そこに気体が入っているとしよう。その場合、気体分子は、$N=10^{23}$個存在する。一つ一つの分子は厳密にニュートンの運動方程式に従って動くとして、この系の未来を予測するには、$10^{23}$個の分子全てについてそれらの初期条件を百％正確に知らなければならない。そうでなければ、ビリヤードで起ったのと同じことがもっと極端な形で、大規模に現れるだろう。最初の分子の方向の僅かな違いは、二、三回の衝突後には極めて大きな差となって現れ、それはますます増幅されて行く。しかし、$10^{23}$個の分子について、初期条件を百％正確に知ることは、実際上は勿論、原理的にも不可能である。初期条件として有理数の範囲だけで考えるとしても、例えば1／3は小数点以下が無限に続くため、どこで打ち切るかによって結果は違ってしまう。初期条件に百％の正確さ（それも$10^{23}$個の分子の全てについて）を求めるということは、コンピューターで処理するとしても、計算が永久に終らないことを意味する。

これは、結局、この$N=10^{23}$個の分子から成る系の初期条件は、6N次元の状態空間において、最早、原理的にも「一点」としては与えることが出来ず、状態空間中の点の集合—細胞—としてしか定められないことを意味する。細胞内の一点を特定出来る限り、その一点からスタートする「軌道」は、それがどんな複雑な動きを見せようとも、決定論的である。問題は、細胞内のどの点が出発点になるかは確率的にしか定められないことにある。そして、その後、細胞がどう動いて行くかも確率的な過程となる。こうして我々が入手したのは「統計的記述」である。それは個別的記述—軌道—に還元され得ない。

骰子が偶然を発生させる道具として意味を持つのは、我々が無知であるからだ、という考えも、こうしたことから否定される。初期条件の細胞をどんなに小さく設定しても、そこには極めて多くの初期条件が含まれており、それらの初期条件からスタートする夥しい数の軌道は骰子の１から６迄の目の各々に均等に結びついている。１の目に結びつく初期条件のどんな近くにも２以下の目に結びつく初期条件が同じように存在する。だから骰子は偶然を発生させる道具として機能するのである。そもそも１の目の出る初期条件を一点として特定することは出来ない。それが「点」ではなく「細胞」を考えなければならない

理由であった。この事情はラプラスの魔にとっても変らない。魔といえども、どの目が出るかを予知することは不可能である。

時間の向きは、細胞が状態空間全体に浸透することに関係している。細胞が状態空間全体に浸み渡った状態を初期条件にすることは出来ない。パイ捏ね変換で云えば、最初に或る場所に置かれたバターは生地全体に広がって行くが､広がった後の一点を初期条件とし、そこから後戻りすることは出来ない。何故なら、そこから引返すべきその一点を特定しないことには、最初の一点には戻れないが、広がってしまった後の一点を特定するためには無限大の情報量を必要とするからである。このように、軌道を反転することは、無限に高いエントロピー障壁によって妨げられている。

いずれにしろ、気体分子の運動のような保存力学系においては、系の時間発展を記述するには、状態空間中の一点からスタートする軌道によってではなく、細胞がどのように推移するかを確率的に追って行くよりほかに手立てはない。統計的記述が本質的な役割を演じるのである。一方、散逸力学系では、系を特徴づけるのは分岐であり、そこに確率が深く関わっていることは既に見た通りである。このように、保存系にしても、散逸系にしても、力学系の時間発展は本質的に確率的な過程である。それは「確実性」にではなく、「可能性」に基いた自然法則の新しい定式化である。

### §4. 内蔵秩序

ネットワークを支えるものとして、本章では今まで、靴紐仮説、自己組織化、統計的記述を見て来たが、最後に、本節では、ボームのいう「内蔵秩序」を見ておきたい。

先ず「シュレーディンガーの猫」であるが、そこで問題とされたのは、箱を開けた瞬間に、猫が「生と死の状態が重ね合わせになっている状態」から、「生、死どちらか一方の状態」に「収縮」するということであった。

この「収縮」は、量子論に固有のことではなく、硬貨投げや骰子投げにおいても起っていることだとするポパーの見方はおかしいということは、第４章で指摘しておいた。猫で問題になっているのは、観測による「確率の収縮」ではなく、観測による「状態の収縮」なのである。しかし、観測によって確定するという点ではどちらも変りはない。猫の生の確率１／2が観測の瞬間に１または０に確定し、硬貨の表の確率１／2も観測の瞬間に１または０に確定する、その点で両者は同じである。しかし、後者については誰も不審に思わないのに、前者についてはそうでないのは、何故であろうか。それは、後者については、硬貨投げをそのようなものとして人間が設定したからである。意図的に偶然を生む装置として硬貨投げを考案した。だからそれがそのように振舞ったからといって、期待通りのことが起ったに過ぎない。前者はそうではない。この世界に、原因によらず、しかも突然に決まるというようなことがあろうとは、人間にはどうしても信じられないのではなかろうか。矢張り、出来事は、決まるべくして決まっているのである。勿論、一意的に、ではないにしても。

そもそも、現在、我々の知っている重要な現象はみな非線形の理論に基いている（一般相対性理論も非線形である）が、シュレーディンガーの波動方程式は線形であり、そのことが「状態の重ね合わせ」ということを帰結させたのであった。重ね合わせが可能なのは線形だからである。ところが、ボームは、波動方程式を二つの部分に分解して書き下すこ

とが出来ることに気づいた。第一の部分は或る意味において〈古典的な電子〉を表し、第二の部分は電子が外界に敏感に反応する効果を表す複雑なポテンシャル項であり、ボームはこの第二の部分を「量子ポテンシャル」と名づけた[26]。この量子ポテンシャルは、電子の運動を決定論的に与えると同時に、非線形に歪める。量子ポテンシャルは、電子の周囲に存在するあらゆる原子、素粒子の影響を受けるので、電子の動きは極めて複雑なものとなり、予測不可能となる。

猫の問題に戻れば、生死が重ね合わせになった状態というのは、波動方程式の「解」としては確かにあり得るのであるが、そのような状態は、量子ポテンシャルの存在によって、実際には実現不可能なのである。

これをもう少し詳しく云うと、次のようになる。つまり、多数の粘菌が集って一つの生き物のように振舞うような現象は至る所に存在する。磁石をつくる原子の秩序構造や超伝導状態における電子の運動などがその例である。素子がばらばらに振動する状態から、揃って振動するようになることを「位相固定」と呼ぶ[27]。ばらばらな振動は、位相固定によって、遥かに安定な振動に移行する。さて、量子的な素子がばらばらに動いているときには量子的な性質を反映し、あらゆる可能な解の線形な重ね合わせが解となる。しかし、素子の数が増え、それらが一つになって動くときには、位相固定による安定な特性が出現し、最早線形な重ね合わせでは状態を記述出来なくなる。猫がまさにそれである。このように、ばらばらに観測すると全く予測不可能な量子の世界も、集団をつくることによって秩序が生まれ、様々な複雑な構造を持つことが出来るようになる。

こうした考えは、第１章でとりあげた「EPR 問題」を説明することも出来る。一方の粒子だけを変化させることは原理的に不可能なのであり、体系内の全粒子は揃って変化する以外にない。これをボームは水槽中を泳ぐ一匹の魚に例えている[28]。水槽を正面からと、真横からと、二台のテレビカメラで写し、これを別室の人が見るとしよう。彼は、二つの映像中に写っているのは別々の魚だと思い、そして、「二匹」が互いに密接に関係して動くのを見て、二匹がどの瞬間にも互いにコミュニケーションを交わしているのだと結論するかも知れない。この状況全体を把握している我々は、勿論、二匹の間に如何なるコミュニケーションも何の相互作用も行われていないことを知っている。二匹の魚は一つであり、同じものであるからである。つまり、現実の魚は画面上の個々の像よりも高次元の存在である。三次元の実在はそれらの射影のどちらでもなく、しかもそれらと異り、かつ本性上それらを超越した何者かである。この考えを拡張すれば、離在する要素間の非局所的・非因果的関係という量子的性格に導かれる。系を構成する個々の粒子は共通の三次元空間内に各々独立して存在するのではなく、夫々「高次元の実在」の射影だと考えるのである。こう考えれば、EPR 問題は何らパラドクスではなくなる。

ボームによれば、「混沌」とは捉えにくい「秩序」である。ボームの量子ポテンシャルの理論は、「内蔵秩序」の理論から出て来たものである。内蔵秩序とは、全体の構造が各部分のうちに「包み込まれ」ていることをいう。それはまさに華厳の見方であり、そこでは全てが全てのうちに包み込まれているのである。この秩序は現在の物理学を支配している「顕前秩序」と著しい対比をなす。顕前秩序においては、個々のものは「抜き出され」ており、他のものの外部即ちおのれの時空領域の中にのみ存在する。

部分に全体が織り込まれている例としてホログラムがある。これは被写体からの光の干渉模様を写真に記録するものであり、写真の各部分に被写体全体の情報が含まれる。つまり被写体全体の形態と構造がその写真記録の小領域の各々に包み込まれるのである。そしてその任意の小領域に光を当てると、この形態と構造は抜き出され、被写体全体の像がそれと分る形で再現される。一方、レンズを用いた普通の写真では、被写体と像との間に一対一の「点 - 点」対応が存在する。この一対一の点対応こそは従来の物理学の本質を端的に象徴するものである。対象と像との間の一対一対応は、分離・独立した諸部分へと注意を向けさせる。そして、その結果齎された科学技術の進歩が、今度は、遠すぎ、大きすぎ、あるいは小さすぎ、速く動きすぎたりして肉眼では捉えられなかった対象をも、この方法—即ち一対一対応を用いた「分析」とその結果の「綜合」—で捉えられるようにした。

さて、ホログラムは部分が全体を含むものではあるが、それが提供するのは静的な記録でしかない。こうした見方を運動にまで拡張出来ないだろうか。そこで、ボームは次のような実験を考案した[29]。回転装置のついた透明な円筒の中に、グリセリンのような非常に粘性の高い液体を入れる。この液体に不溶性のインクを一滴注ぎ、円筒をゆっくり回転させると、インクの滴は徐々に変形し、ついには目に見えないほど細い糸となって、液体全体の中に引き延ばされる。次にそれを逆に回転させると、やがて再びインクの滴が出現する。卵がケーキに混ぜ込まれた場合には卵をもう一度ケーキから取り出すことは出来ないが、今の場合にはインクの滴を再び取り出せるのである。インクは液体中にランダムに見える状態に分布したときでも、或る種の秩序を持っている。しかもその秩序は、最初異る位置に置かれた滴ごとに異る。秩序は液体中に「包み込まれ」、ないし「内蔵され」ているのである。この内蔵秩序は逆回転させることで「抜き出す」ことが出来、それが顕前秩序である。

さて、先ずインクを一滴注入し、n 回転させる。次に一滴目を注入した場所の左すぐ近くに二滴目を注入し、再びn回転させる。次には二滴目を注入した場所の左すぐ近くに三滴目を注入し、再度n回転させる。この手続きを何度か繰返した後、装置を逆回転させて見よう。左から右へ、次々と滴が現れるだろう。装置を十分速く逆回転させれば、一つの粒子が左から右へ横切って行くように見えるだろう。云いたいのは、横切って行く粒子は我々の視覚に顕前化している抽象であって、真の実在は包み込まれた秩序であり、それは常に全体であり、本質的には時間とは独立なものだということである。時間と関係がないというのは、相互に密接に関係する二つの要素は順次抜き出されるが、もともとは全て全体の内に交ざり合っているものだからである。

基本的な運動は、このような包み込みと抜き出しとであり、「全体運動」と呼ばれる。要素は、我々の知覚が受容し得る形で顕前化して来る。包み込まれた秩序の全てが顕前化するわけではない。我々に見えて来るのは、包み込まれた秩序のほんの小さな部分でしかない。

ボームによれば、「電子」というものも、上記のような顕前化した抽象である。「電子」という語は、全体運動の一定の相に我々が着目するための名称に過ぎない。そのような相は実験の全状況との関連で初めて論ずることが出来るのであり、空間中を自立的に運動する局在的対象などという概念によって捉えられるようなものではない。現行の物理学で物質の基本構成要素と云われるあらゆる種類の「粒子」もこれと同様に扱われなければなら

ない。このように、分割されない全体性という秩序のもとで、我々は「全てが全てを内蔵する」という一般的記述に到達するのである[30]。

因みに、第１章で述べた電子による２スリット実験も、一個の電子の照射だけでは隠れていた秩序が、多くの電子を照射することによって、縞模様として顕現するのである。

内蔵秩序を基本的かつ直接的な実在だと考えることによって物質一般が理解されるが、それは意識についても同じである。例えば人が音楽を聴いているとき、そこでは、グリセリンに次々と注入されるインク滴が内蔵秩序として包み込まれて行くのと同じことが起っているのである。その場合、過去に注入されたインク滴は内蔵秩序として現在において共在している。音楽においても、人は、現在に共在する一つの内蔵秩序を直接に看取しているのである。

運動の知覚も同じことで、内蔵秩序によって考えれば、ゼノン（Zenon、前 490？－前 429？）の背理は生じない。運動とは包み込まれた秩序全体からの一つの結果であり、従ってそれは、今存在する要素ともう存在しなくなった要素との間の関係で定まるのではなく、共在する要素間の関係で定まるものである。こうして、「存在するものは運動である」ということをより一貫した仕方で理解出来るようになる。実在の本質は異る包み込み段階にある相の間の関係なのであり、全てが顕前し顕現している粒子や場の間の関係ではない。

物質の基本的構成要素や運動に対するこうした見方は、仏教における説一切有部の「法（事物）」の体系に比較出来る。先に見たように、有部によれば法は三世（過去、現在、未来）に実有である。過去の法、現在の法、未来の法は、作用に関してどういう「位」にあるかが違うだけであり、それらは共在している。それはグリセリン中のインクと同じである。インクは一瞬の間（一刹那）だけ「滴」であり、それが現在である。それ以外は内蔵秩序としてグリセリン中に包み込まれている。その意味で法は「刹那滅」である。次々と法が抜き出されては、一刹那「滴」として存在し、再び包み込まれる。刻々に一刹那だけ顕現する別々の滴の連なりを、我々は「運動」と見るのである。有部はそれを「草原を焼く焔」に喩えている。現代で云えば電光板に相当する。ボード上の夫々の位置に固定された電球が次々と一瞬点っては消えるだけであり、「何か」が動いている訳ではない。

心と身体について云えば、説一切有部はそれらの間に区別を設けない。精神を構成する法も物体を構成する法も、法は法である。ボームの見方では、心と身体とは、より高次の、共通の根拠から派生したものである。この高次の根拠を支配しているのは内蔵秩序である。心と身体とは、相互に因果的に影響を及ぼし合っているのではなく、両者の夫々の運動は、高次の根拠の運動の射影である。それは一匹の魚の動きを正面と真横の二方向から捉えたテレビの映像のようなものである。

さて、夜、星空を仰いでみよう。我々はそこに宏大な時空の広がりの構造を見出す。だが、そうしたことの全ては、眼球内のちっぽけな空間を満たす光の運動中に含み込まれている（蓮の華に置く露に全世界が映し出されているようなものである）。だからこそ我々はそうした構造を知ることが出来るのである。我々は内蔵的（陰伏的）にではあるが、あらゆる場所に現在（プレゼント）している[31]。基本的なのは内蔵秩序であり、顕前秩序はこれから二次的、派生的に流出したものに過ぎない。内蔵秩序の基礎は全体運動であるが、それは極めて大きく豊かであり、包み込み抜き出す、止むことのない流れの状態にある。

しかし、その法則の殆どはただ漠然としてしか知られておらず、その総体を知ることは

究極的に不可能であろうと、ボームは云う。ボームは相対性理論と量子論とを統合した新しい物理学を提唱する[32]。相対性理論は厳密な因果性（ないし決定性）、連続性、局所性を要求するのに対して、量子論は非因果性、非連続性、非局所性を主張する。これらの点で両者は相容れないが、分割不可能な全体性という点では一致する（そこに行き着く道は異るが）。分割可能性こそはデカルト以来の機械論的世界観の基礎をなしていたものである。そこでは、基本要素が独立的に存在し、互いに外在し、外的関係によってのみ結びつけられている。それは既に見た小乗の説一切有部の世界である。そうした見方を破棄するために竜樹は「縁起」を説いたが、ボームは「内蔵秩序」や「全体運動」の考えを提唱にするに至ったのである。ちなみに、プリゴジンはそれを「統計的記述」によって行い、チューは「靴紐仮説」で行ったのであった。

1．Gell-Mann, M.(1994) 邦訳 169 頁。
2．Popper, K. R.(1990) 邦訳 29 - 35 頁。
3．Bohm, D.(1980)の第Ⅰ章～第Ⅲ章（ 邦訳 23－130 頁）から要約した。
4．同 101－3 頁。
5．同 69 頁。
6．Whitehead, A. N.(1920) 邦訳 159-60 頁。
7．Whitehead, A. N.(1933) 第七章第五節以降および第八章（邦訳 150-189 頁）。
8．同 163-4 頁に『ソピステス』二四七から引用されている。
9．Descartes, R.(1647) 第一部第五一節。
10. Newton, S. I.(1687) 一般的注解（邦訳 561 頁）。
11. Whitehead, A. N.(1933) 邦訳 213-4 頁。
12. Whitehead, A. N.(1929) 邦訳 30-2 頁。
13. Whitehead, A. N.(1948) 邦訳 138 頁。
14. Whitehead, A. N.(1929) 邦訳 113-4 頁。
15. Whitehead, A. N.(1933) 邦訳 156 頁。
16. Whitehead, A. N.(1929) 邦訳 612 頁。
17. チュー自身は、靴紐仮説の理論を立てた後で、仏教との類似を指摘されたのであり、最初から縁起説を知っていた訳ではない。
18. Gell-Mann, M.(1994) 邦訳 269－70 頁。
19. Prigogine, I. and Stengers, I.(1984) 邦訳 184 頁。
20. 同 315 頁。
21. Prigogine, I.(1997) 邦訳 16 頁。
22. Prigogine, I. and Stengers, I.(1984) 邦訳 390 頁にパースの一節が引用されている。
23. 同 246 頁。
24. 蔵本由紀（2007）156 頁。
25. Sheldrake, R.(1981) 邦訳 18 頁。
26. Briggs, J. and Peat, F. D.(1989) 邦訳 253 頁。
27. 同 256 頁。
28. Bohm, D(1980) 邦訳 315-7 頁。

29. 同258 - 62頁。

30. 同267頁。

31. 同286頁。

32. 同298-303頁。

**用語集**

非線形科学で使われる用語には紛らわしいものが多い。前章と本章で用いた用語のうち主なものを、ここで整理して置く。

**孤立系**　まわりの環境とエネルギーも物質も交換しない系。

**閉じた系**　まわりの環境とエネルギーは交換するが、物質は交換しない系。

**開いた系**　まわりの環境とエネルギーと物質の両方を交換する系。

**平衡状態**　熱力学における時間的変化の最終状態。それ以上変化する余地がない。

**非平衡状態**　時間的変化の余地のある状態。

**定常状態**　時間的に変化の余地はあるが、変化せずにとどまっている状態。

**力学系**　一般的に、時間とともにその特性が変化する系。保存力学系と散逸力学系の二種類がある。

**保存力学系**　例えば、空気抵抗や摩擦のない振子の運動や、弾性衝突を繰返す分子集団の運動を記述する力学系。エネルギーの散逸がなく、エントロピーを生成しない。状態空間内の細胞の体積は時間が経っても変わらない。決まった落着き先（アトラクター）はなく、どんな運動をするかは専ら初期状態によって決まる。マクスウエルやポアンカレによって捉えられたカオスは保存系におけるカオスである。

**散逸力学系**　例えば、粘性を持つ流体の運動を記述する力学系。時間進化が不可逆な系。エネルギーを散逸し、エントロピーを生成する非平衡開放系。状態空間内の細胞の体積は時間の経過とともにゼロに収束する。即ち、細胞内の多数の初期点の全てが単一の運動状態（アトラクター）に収束して行く。散逸系は自己組織化とカオスの両方を示すことが出来る。ローレンツ・モデルは散逸系のカオスの代表的なものであり、十分な初期データを持っていても現象の時間発展自体が不安定なので、予測は困難である。

**状態空間**　力学系の瞬間的な状態が、その中の一点で完全に決定されるような抽象的な空間。1個の粒子についてその位置と運動量を表すのに夫々3個の座標を要するので、N個の粒子からなる力学系の状態空間は6N次元空間である。一般に状態空間の次元は、その系を記述するのに必要とされる変数の数で決まる。系の時間発展は状態空間内の軌道によって記述される。通常の3次元空間内におけるN個の粒子の運動はN本の曲線を描くが、それは、6N次元状態空間における一本の軌道に対応する。

**カオス**　状態空間で互いに近接していた軌道が、時間とともに指数関数的に離れて行ってしまうような系の振舞。（無限小離れた二つの軌道が分離する、ないし近づく度合をリヤプノフ指数と呼ぶ。）

**分岐**　散逸力学系が構造安定性を喪失し、それを通じて新しい構造安定状態が出現する現象。

**アトラクター**　状態空間において散逸力学系が落着いて行く先。平衡状態と定常状態は固定点アトラクターに、周期的な状態はリミットサイクル・アトラクターに、カオスの状態はストレンジ・アトラクターに、夫々対応する。これらの体積はいずれもゼロである。ストレンジ・アトラクターは、軌道が決して閉じることはなく、フラクタル次元を持つが、それでも太さがないので、体積は矢張りゼロである。アトラクターには、このほか、二重周期運動にからんでトーラスというのがあるが、これも体積ゼロである。

**粗視化**　状態空間の有限領域にわたる動力学の平均化。可逆的な力学を基礎として不可逆性を説明するために考え出された平均化の方法。

## 結び

前章では、要素の夫々が夫々に影響し、決定し合うような系の従う原理としてどのようなものが考えられるかを見て来た。本章では、第１節で、そうした原理のさらに奥にある「自然法則」という考えと、それを記述するとされている「数学」とについて考えて見たい。一部既に述べたことと重複する箇所もあるが、必然／偶然の問題を、法則と数学という観点から統一的に眺めて見ようというのが第１節の趣旨である。続く第２節は、第１節とそこに至る前章までの論述を踏まえ、偶然や確率とは結局何であるのかを総括し、そして、そうした見方に従えば、世界はどう捉えられることになるのかについて考察する。

### §１．自然法則と数学

#### （1）数学

一般にこの世界の有様は、数学を使って記述出来るものとされている。しかし、それは、それ程自明なことなのだろうか。世界は世界であり、数学は数学である。両者の間にどのような関係があるというのだろう、そして、関係があるとすれば、それは何故なのであろうか。

先ず「数学」とは何かということから始めよう。果して数学は「発見」されるものなのか、「発明」されるものなのか。

数学は発見されるものだとする見方―発見説―に従えば、数学者がいようがいまいが、数学は存在することになる。数学は人間の頭が生み出したものではない。数学が自然の仕組を正確に捉えることが出来るのは、自然が実際に数学的であるからである。世界は或る深いところで数学的になっている。自然は数学の基本的な材料であり、神は数学者である。

科学者は、数学的な説明を見つけてしまえば、それ以上には調べない。これは考えて見れば不思議なことであるが、この事実は、数学が自然科学における説明そのものとなっているということを示しており、数学が人間の単なる発明物ではないことを表している。

大部分の数学者は、数学は発見されるものだと思っている。ゲーデルの不完全性定理があろうとなかろうと、人間の手によるものではない永遠の真理というものが存在する。数学者はそれを掘り出すのである。そこに数学者の無上の喜びがある。それこそが第３章で述べた岡潔の「発見の鋭い喜び」である。

これに対して、数学は発明されるものであるとする見方―発明説―によれば、数学とは、数学者がやっているところのものに過ぎない。我々人間の頭が数学的構造体を作り出し、我々はその鋳型に世界を嵌め込むのである。神は数学者ではない、しかし、神の御業は数学的「モデル」によって正確に記述出来る。

この見方に従えば、ガウス（Carl Friedrich Gauss、1777-1855）の偉大な業績にしたところで、当時の社会における科学技術全体の発展と全然無関係であった訳ではない。もし歴史的事情が異っていたら数学は違うものになっていたであろう。もしかしたら、それは今あるものよりも素晴らしかったかも知れない。

自然は、生物の進化の過程で、数学を我々人間の頭に刻み込んで来た。数学は、世界に対して人間がよりよく適応するのに好都合だったのであり、数学的な見方を持つことは自

然淘汰に有利に作用したのである。あるいは、自然を記述するのに数学がこれ程迄に有効に見えるのは、単に、我々が物理的世界についてあまり知らないということを反映しているだけなのかも知れない。つまり、我々人間が自然についてこれ迄明らかにすることが出来たのは、自然の特性のうちの数学的な記述に合う部分だけだったのだ。我々はこの世界を数学的だと見るが、だからと云って、世界が実際に数学的だということにはならない。色眼鏡をかければ空がピンクに見えるけれども、空はピンクではない。

発明説の中には、形式主義と呼ばれる立場や直観主義と呼ばれる立場も含まれる。

形式主義によれば、数学とは将棋のような論理ゲームであり、首尾一貫していさえすればそれでよいのである。数学の公理や変換規則は我々人間が作り出したルールに過ぎない。それらは、相互の関係を通して得られる意味以外に、何かそれ自体の独立した意味を有する訳ではない。方程式は存在するが、数学的対象は存在しない。自然を記述するのに何故数学が有効なのかは、数学の与り知らないことである。

こうした形式主義は、数学が深刻なパラドクスに見舞われた19世紀末から20世紀初頭に、何とか数学を磐石な基礎の上に据えたいというヒルベルトの構想から生まれた。しかし、その夢はゲーデルの不完全性定理によって砕かれてしまった。これらについては既に第２章で述べたところである。ゲーデルが示したのは、数学の真理は、公理と変換規則とを合わせたものより真に大きく、数学の範囲と内容は無限であるということに他ならない。さらに、第５章で見たように、ゲーデルの定理は、また、無作為性・偶然性の概念とも繋っている。

直観主義もまた、数学が見舞われたパラドクスの解消を目指して唱えられたものである。この立場によれば、我々の経験の外にあるものは、直観的になじみのある手順を有限回続けることによって、単純な成分から構成されなければならない。有限回の構成的な論理の手順で真か偽かが明らかに出来ない命題は「不定」と考えるべきである。「円周率$\pi$の値を小数点以下無限に展開したとき、奇数が続けて百個並ぶ箇所は、あるかないかのいずれかである」というような命題は、決定不能であり、正当なものとは認められない。

このように直観主義の立場では無限大の集合に関する命題が扱えなくなる。これは現代数学の成果の殆どを放棄することに等しい。また、アインシュタインの一般相対性理論やボーアの量子力学のような物理理論は、非構成的な推論を用いているから、それらも認められないということになる。

### (2)計算

発見説の云うように数学は自然に内在する特性だとすれば、自然は「計算」していることになる。これを次の思考実験で見てみよう。ここに二つのブラックボックスがあるとして、一つには何らかの物理的過程が入っており、もう一つにはそれをシミュレーションする計算機が入っているとする。二つの箱に対する同一の入力が、同一の出力を齎すことはあり得るだろう。この場合、どちらの箱が物理的過程で、どちらの箱が計算機かは分らない、しかし、どちらか一方が計算機である以上、その箱は計算したのであり、そうだとすれば、それと同一の結果を出したもう一方の箱も計算したのだと云わざるを得ないだろう。

このように考えれば、自然の物理的な活動そのものが、自然の行う計算に他ならない。そうした意味で、自然は宇宙の「次の状態」を何十億年にわたって計算して来たのである。

ただし、物理的過程の行う計算は、その過程の実際の進展に先回りすることは出来ない。自然界においては、系の物理的活動と、その系の行う計算とは表裏一体をなし、両者は同時に進行するので、どちらが速いということはない。

では、物理的過程の行う計算と、計算機の行う計算とでは、どちらが速いだろうか。計算機の方が速い、同じ、遅いの三つが考えられよう。

第２章で二つの数列を挙げておいた。次の通りである。

数列Ⅰ　101010101010101010101010101010101010101010101010101010101010

数列Ⅱ　1000111001010101000010101000101000101010000001010100011010100

数列Ⅰは「10 を 30 回繰返せ」という短いプログラムで作れるが、数列Ⅱを作るには数列自体をそのまま書き下す以外に方法はない。Ⅰは圧縮可能であるが、Ⅱは圧縮不可能である。

科学が存在するのは、自然界にアルゴリズム的に圧縮可能な系が存在することによる。「自然法則」とは、系の状態がどのように変化しているかについての巨大なデータ列を圧縮したもののことに他ならない。科学者が世界を数学で記述するというのも、この圧縮のことを云っているのである。

系がアルゴリズム的に圧縮可能であり、それを計算する計算機の速度が実際の系の進展よりも速ければ、我々は未来を「予測」出来ることになる。未来の状態を前もって知ることが可能なのである。何年何月何日に日蝕が起るというような予測がそれである。この世界で起ることのうちで、予測可能なものはごく限られている。日蝕の予測とは、極端なことを云えば、数列Ⅰにおいて１の次は０だと予測するようなものである。人間が予測出来るのは、安定した現象についてのみであり、しかも多くの細部を無視した上でのことである。

それ以外の場合には、我々は予測することが出来ない。第２章においてアルゴリズム的に圧縮不可能な系をランダムな系と呼んだ。ランダムな系は、それ自体よりも短く記述することは出来ず、何が生じて来るかを知るには、実際に当の系の進展を待つ以外に方法が無いので、予測は不可能である。しかし、ランダムでなくても予測不可能な系は存在し、それは決して珍しいものではない。計算機の計算が実際の系の進展に追いつけない場合には、その系の未来は予測不可能である。これは単に計算機の計算速度を上げれば片づくという技術的な問題ではなく、原理的にも不可能なケースが存在する。それは、その問題を解くために必要な最短のコンピューター・プログラムの処理時間が、入力のサイズの増大とともにどのように増えて行くかに関係する。処理時間が入力サイズの「べき乗」よりも急速に増大するような場合には、計算機の計算時間が長すぎて、予測は不可能となる。多くの物理的系においては、当の系の進展自体が、自らの未来を決めるための最良の効率的な手順になっているのである。

### (3)方程式

計算に絡む問題としては、速さだけではなく、誤差の問題もあり、非線形な系の場合にはそれが本質的な役割を演じる。しかし、それを論じる前に、「方程式」について整理しておこう。

物理学が数学的なのは、物理的世界についてよく分っているからではなく、僅かしか分

っていないからであり、我々に見つけられるのは、世界の特性のうちで数学的な記述に合う部分だけなのだという見方があることは既に述べた。物理学の法則は具体的には微分方程式で記述されるが、そのことをもって物理学は数学的だと云われるのである。微分方程式とは物理的な系の未来の状態を現在の状況から決めるためのアルゴリズムであるが、そこには次の三つの要素が関係している：

①「アルゴリズム的構造」、つまり、現在から未来を決定出来るという性質。

②「初期条件」、つまり、出発点の状況。

③「自然定数」、つまり、アルゴリズムを適用しても不変な種々の定数。

これら全てに誤差の問題が絡むが、それについては次項で論じる。

これら三つは独立と考えてよい。我々は初期条件については何も知らなくてもよいし（②)、問題に関係する定数については大まかな測定結果しか得られていなくても（③)、法則の形式をきちんと導くことが出来る（①)。

このように自然法則が初期条件から独立していればこそ、それは「法則」として機能するのである。ロケットの軌道を決める法則は打上げ速度とは無関係だから法則として有用なのであり、法則が個々の打上げ速度ごとに異るならば、それは法則とは云われまい。

一般に、初期条件を決める術はない。一般相対性理論は、宇宙が時間とともにどう変化するかはうまく記述するかも知れないが、この宇宙の初期状態がどういうものかを教えてくれる法則は得られていない。

初期条件という概念にはおかしなところがない訳ではない。ニュートンの運動方程式を使って物体の動きを予測するとき、初期条件として最初の位置と速度とを特定する必要がある。しかし、この最初の速度には、最初の時刻だけでなく、或る無限小の時間が経った未来の時刻の物体の位置という概念を含んでいる。つまり、この場合、初期条件は、方程式で予測すべき未来の状態を先取りしていることになる。

自然定数がどうでなければならないかを決める「法則」も得られていない。自然定数の値が現にそうである価とほんの僅かしか違っていなかったとしても、地球は存在しなかったかも知れないし、存在したとしても生命は誕生しなかったかも知れない。基礎物理学の大目標の一つは、自然法則を定める方程式に現れる定数の数値がまさにその値になっている理由を見つけることにある。

### (4)誤差

一口に「誤差」と云っても、その正体を明らかにするのは簡単なことではない。誤差は、自然の「系」とそれを記述する「方程式」のどちらの側にも関係する。主だったものについて順次見て行くことにしよう。

先ず、自然の系の振舞を問題にするとき、我々はその系は「閉じている」と仮定する。外部からの影響はないと見做すのである。しかし、実際にはそういうことはあり得ない。それは単純化であり、理想化である。半減期が一日の放射性元素を金庫に閉じ込めたとして、24時間後には半分の原子が崩壊しているだろう。しかし、どの原子が崩壊するかは予め決まっている訳ではない。どの原子が崩壊し、どの原子が残存するか、それは、金庫内の夫々の原子の相互作用によるだけではなく、金庫の外部から、金庫の壁を通して、個々

の原子に齎される影響によって「決まる」と考えるのが自然だろう。個々の原子は少なくとも金庫内で占める「位置」が異るので、外部からの影響も個々の原子ごとに異り、その結果、或る原子は崩壊し、或る原子は崩壊せずに残るのである。どの原子が崩壊するかは「偶然」によっていると思うのは、そのような細部を無視すればこそである。これは、完全には閉じていない系を閉じていると見做すという単純化、理想化によって齎される偶然―不確定性、ゆらぎ、誤差―の例である。

前に第6章で、因果「系列」とは、複雑に入組んだ因果の「網」の中から、人工的に或る一方向の連鎖を分離し、切り取ったものだということを述べた。物事を説明するには、因果の網から、当面必要な部分、注目すべき部分だけを線型に切取って分離せざるを得ない。ちょうどそれと同じように、自然の或る現象を説明するには、それを含む適当な部分を世界から切取って分離し、残りの部分とは独立であると仮定する必要があるのである。

この「閉じた系」という考えが齎す誤差に類似のものとして、同時進行する現象の影響を無視することから来る誤差がある。例えば、バタフライ効果には、それと並行して無数の出来事が進行していよう。それらがバタフライ効果に何の影響も与えないということはあり得ない筈である。影響には、相殺し合うという消極的なものもあれば、別の新しいものを生み出すという積極的なものもあろう。そうした影響を一切無視し、いったん始まった動きはそれ単独でいつまでも続くとするところに、バタフライ効果の議論が成立つのであった。北京での一匹の蝶の翅の一振りがメキシコ湾岸にハリケーンを生むには、そうした一連の動きに他の事象は何の影響も及ぼさないという奇蹟が必要なのである。このように、カオスの議論においても、同時進行する事象の影響は考えられていない。それも一種の単純化、理想化であり、そこから、また別の思いかけない結果―誤差、偶然―が出て来ることは大いにありそうなことである。

いったん始った動きは、正確に、そのまま、いつまでも継続するという仮定は、パイ捏ね変換（第１章）にも見られる。パイ生地は、毎回、正確に、右へ「２倍」引き伸ばされ、「真ん中」で二分され、右半分は左半分の「真上」へ置かれる。しかし、現実にはそこに様々な誤差が入り込むであろう。パイ捏ね変換の場合にはそれは本質的な影響を齎さないとしても、それは、バターはいずれにしても生地全体に一様に混ぜられるに至るという大局的な見地から見た場合の話であり、細部に注目すれば、毎回の誤差は後の結果に大きな影響を及ぼしている筈である。このように、後から継続的に系に紛れ込む誤差が最終的にどのような結果になって現れるかは、必ずしも明らかではないのではないか。

以上の三つ（系が閉じているという仮定、同時進行している現象の無視、いったん始った動きは正確にそのまま継続するという仮定）は、前項の①「アルゴリズム的構造」に絡むものであるが、②「初期条件」については、それへの敏感性ということが問題になる。系が線形の場合には、初期条件の観測の精度に多少問題があっても、いずれ減衰・相殺され、結果に重大な影響を齎すことはないが、非線形な系の場合には誤差が保存・増幅され、結果に劇的な影響を及ぼす。これについては、上記のパイ捏ね変換を例に第１章で詳述したところである。

初期条件については、これも第１章で見たように、ハイゼンベルクの「不確定性原理」というもっと原理的な問題も存在する。どんな系であっても、最初の状態に関する我々の知識には、或る有限の不確定部分が伴わざるを得ないのである。これは、測定するという

過程そのものが、測定される状態から切り離せないことから生じる。しかし、マクロな系においては、現実の精度を不確定性原理でいう限界まで追求することは、実際上不可能である。従って、不確定性原理によって齎された量子論における決定論の瓦解は、マクロな現象に対しては直接の関係はない。これをビリヤードを例に見てみよう。仮に、最初に球を突くときの精度を不確定性原理でいう限界まで追求することが出来たとしよう。その場合でも、他の球や壁との十何回かの衝突の後には、当初の極微の量子的不確定部分は玉突台全体の大きさにまで拡大されてしまう。それはそうではあるが、現実には不確定性原理でいう限界よりもずっと大きな誤差を伴ってスタートせざるを得ない。だから、その後の球の進路の予測不可能性は、不確定性原理から来るのではなく、その現実の誤差によって齎されるのである。

以上二つは観測の精度の問題であるが、精度に関しては、このほか、計算に伴うものがある。手で計算するにせよ、高性能の計算機を使うにせよ、計算する以上は小数点以下必ず何桁目かで打ち切らなければならない（四捨五入、あるいは切捨て、切上げ)。線形の系の場合にはそれは大して問題にならないが、非線形な系においては、誤差は増幅され、結果に重大な違いを齎す。非線形系では、誤差は単なる誤差で済まず、本質的な問題となる。これは、「系」とそれを記述する「方程式」とに分けて考えれば、後者に伴う計算の問題であるが、前述のように「系」自体も計算をしているとすれば、系の行う計算とはどのよう計算なのだろうか。それも矢張り何桁目かで打切ることに相当するような何事かを行っているのだろうか。これについては後で戻って来ることにしよう。

最後に、③自然定数については、これも後ほど、「人間原理」のところでもう少し詳しく見ることにしたい。

以上、誤差にはその素性・由来に色々あるのを見て来た。系は「方程式」に従うので、その限りでは決定論的であるが、非線形な系の場合には、各種の要因で発生する誤差が、系の未来の予測を不可能にしてしまうのである。何か「偶然」なるものが存在して、それが系の予測を不可能にしているのではない。(ここではマクロな現象を問題にしているので、量子論での「不確定性原理」は関係ない。) 系の振舞が偶然に見えるとすれば、それは非線形性と誤差とが、そうさせているのである。誤差の発生の機構や原因は完全には知られていないとしても、誤差は発生するべくして発生するのであり、誤差の発生そのものは偶然ではない。

ところで、「誤差」と云うから、何か「正しい」ものが「ただ一つ」あり、そこからの「外れ」が誤差であるかのように思われているのではなかろうか。「正しい」とか「ただ一つ」とかは方程式の側の問題であり、もともと「系」自体は「巾」のあるものだと考えることは出来ないだろうか。方程式による記述とは、その巾のあるものの単純化、理想化であると考えるのである。勿論、巾といっても、道路の巾のように境界が明確になっている訳ではない。巾がきちんと決まっているなら、その境界において同じ問題が発生する。そうではなく砂場を流れ行く水のようなもので、どこまでが水、どこからが砂と明確に区分されている訳ではない。

先程、「系」自体が行う「計算」について予告しておいた。自然は一体どのように計算しているのだろうか。それについては想像もつかないが、自然が行う計算は、上記のよう

な「巾」の内で、「巾」を伴って、行われていると云えないだろうか。だから、小数点以下何桁とか端数処理とかの問題は生じないのである。「巾で考える」ということは、現象を支配する法則自体がもともと統計的なものなのだというプリゴジンの見方（前章§3. 統計的記述）に繋がる。そこでは、系の活動は、状態空間内の状態「点」の軌道によってではなく、「細胞」がどう変形して行くかによって記述されるのであった。この場合、点ではなく細胞を問題にすることが「巾で考える」ということである。

誤差には以上のような個別の要因に基くもの以外に、「系統誤差（systematic error）」と呼ばれるものがある。これは「選択効果」とも云われるが、それは、我々の行う実験の設定や観測の手順には、特定の事実を集め易いという固有の傾向―偏り―があることに基く誤差だからである。鼠の体長について何か法則を得るために、5㎝×5㎝×10㎝の鼠取りで鼠を集めたとしよう。そうすると、「鼠の体長は10㎝以下である」という法則が得られる。これは極端な例であるが、偏りが微妙で、それと気づかれないままになってしまうケースも多いだろう。全く別の、独立した実験で同じ結果が得られるなら、系統誤差の存在の可能性は低くなる。

選択効果は、実験で生じるだけでなく、理論的・数理的研究にも影響する。例えば、一般相対性理論に出て来るような方程式は、複雑すぎて完全には解けない。そこで、解の特徴について何か知るためには、相当の近似に頼らざるを得ない。その際、我々は複合的な現実の世界が、単純化、理想化された状態に近いことを「当て」にしている。しかし、実際にはそうでないことも多いだろう。自然が我々の乏しい計算力の範囲内で作られているとする理由はない。単純化された解が、如何なる意味においても、単純化されていない真の解の近くにないということもあり得る。

選択効果の一種に「人間原理」と呼ばれるものがある。現在見える範囲の宇宙が130億光年以上の大きさになっているのは、それが出来て130億年以上経っているからに他ならない。銀河を一つだけしか含まないような宇宙なら、ビッグバン以来数ヶ月もあればその大きさにまで広がることが出来たろう。しかし、そんな短期間では人類は出現しようがない。この宇宙が130億光年以上と、かくも広大なのは、これより小さい宇宙では我々が生じ得なかったからである。他の星にも知的生物がいるかどうかは分らない。しかし、地球というたった一つの星に知的生物を生み出すためにも、宇宙はこれだけ広大でなければならなかったのである。これは「弱い人間原理」と呼ばれる。これが選択効果の一種であるのは、我々は異例とも見えるこの宇宙の多くの特性に驚くが、それらの特性は、宇宙が我々のような知能を持った観測者によって観測されるとすれば、そのようであるより他になかったからである。つまり、そうした異例さは、測定装置―人間―に固有の偏りが存することと別ではない。宇宙がこのような状態にあるのは、我々のような知能を有する生物が観測者であることによる選択効果が齎すいわば「制約」なのである。

この宇宙で何らかの化学物質から成る生命が進化するために必要な条件を並べて見ると、この宇宙が観測者を生み出すためには、絶妙に調整された「めぐり合わせ」が多数存在しなければならないことが分る。各種の自然定数が、現にそうである価よりもほんの僅かでも違っていれば、観測者は存在し得なかったのである。ここから、宇宙は歴史上の或る時点で観測者を生み出すしかなかったのではないかという見方も浮上して来る。これは

「強い人間原理」と呼ばれる。しかし、現代の物理学者は、この宇宙における生命の進化は何らかの意味で不可避であったという考え方は否定する。「弱い人間原理」は、「我々の出現した宇宙は、そのために必要な特徴を有している」と述べているに過ぎないから、いわば自明であるが、「強い人間原理」は馬鹿げている[1]。

**(5)法則**

バロウ（John D.Barrow、1952-）によれば、自然が「法則」に従っているという考え方が古代に養われたおかげで、遠ざけたり崇め奉ったりする対象として「偶然」という類型も出て来たのである。

> 西洋ではずっと、自然法則という考え方と、一神教的な宗教伝統とが密接に繋がっていたことが､科学の発達を導くような思想の総体を齎す重要な因子だと見られて来た。神から与えられた至上命令としての自然法則という概念は、そうした法則の普遍性と不変性を裏づける助けになった。それはまた、偶然や、一見すると法則がなさそうなところを非合理性と結びつけ、神の意図と対立させる方向にも作用した。秩序と混沌とは、当然、敵どうしである[2]。

19世紀末まで物理学者の関心は専ら自然界の法則と規則性とに向けられていた。ニュートンが明らかにした自然の予測可能性とは別のものがあるのではないかと最初に云い出したのはマックスウェルである。1873年、マックスウェルは、或る団体から「科学の進歩は決定論よりも自由意志の存在を信じる方を有利にするか」というテーマで講演するよう頼まれた。マックスウェルは、自由意志と決定論的な科学とが矛盾するように見えるのは、どんな運動でも初期状態が僅かに違うと結果の違いも僅かだという見方のせいだと論じた。初期状態に敏感な系については小論でも度々論じて来たが、マックスウェルはこれを鉄道に喩えている[3]。転轍器を僅かに切り替えるだけで、列車が最終的に到着する先は、切り替えがなかったときとは全く別になる。

この議論をさらに徹底させれば、「そもそも自然法則などあるのか」という問題に行き着く。何十億年にわたる生物の歴史において、進化を方向づけるようなものは何もなかった。突然変異と適応という、個々の生き物に起った結果の集大成があるだけである。それにも拘らず、地球上の動植物界には見事な秩序が存在する。あるいは、度々出す例であるが、朝のラッシュ時に駅の通路に殺到する群衆の間には整然とした流れが出現する。誰かが命令し指図している訳ではない。このようなことからすると、バロウの云うように、全体としてのこの宇宙に「見えざる手」が働いていないということもあるのではないか[4]。もしかすると、我々が目にする全ての秩序は、個々には無法則でばらばらなことが、全体としては予測出来るように、特殊な現れ方をしたものなのかも知れない。

バロウは、いったい自然法則が存在するとして、それは時間や場所で変化するものなのだろうかと問うている[5]。時間や場所とともに変化する自然法則があるとしたら、その変化の仕方を支配する規則があるかないかの何れかである。そのような規則が存在するなら、より根本的な不変の法則を見つけたことになるが、存在しなければ自然法則はないということである。しかし、本当に自然法則が存在しないとしても、それを知ることは出来ない。現在のところ未だ見つかっていないというだけのことかも知れないからである。

以上、数学と自然法則について見て来たが、これは小論の最終節にどう繋がるのか。その観点から本節を要約しておこう。

（1）完全にランダムでなくても、予測不可能な系が存在する。つまり、系に或る程度の規則性が存在し、従って或る程度圧縮可能であっても、計算機の処理時間が入力サイズの「べき乗」よりも急速に増大するような場合には、計算機の計算速度は現実の系の進展に追いつけず、予測不可能となる。多くの物理的系においては、当の系の進展自体が自らの未来を決める最良の効率的な手順になっている。

（2）非線形な系の場合、誤差が予測を不可能にするが、誤差は然るべき理由があって発生するのであり、偶然に発生するのではない。従って、何か「偶然」なるものが系の予測を不可能にしているのではない。

（3）「見えざる手」は存在しない。系の夫々の要素の動きを決定し、支配しているようなものが系の外部に存在する訳ではない。

最終節に入る前にもう一点だけ追加しておきたい。カントは自然法則をどう見ていたのかについてである。

### （6）アンチノミー

「自然」と「自然法則」との関係について、カントは、自然法則は自然から導出されず、また自然を範とするものでもなく、却って自然の方がこの法則に準拠しなければならないと云う（B163）。現象は自然法則によって初めて自然を構成するのであるし、また経験の対象を与えることが出来るのもこの法則である（B570）。

では、そのような自然法則はどこに在るのかと云えば、自然法則は、現象のうちに存在するのではなくて、主観が悟性を有する限りにおいて、主観に対して相関的にのみ存在するのである。それは丁度、現象がそれ自体存在するのではなく、主観が感官を有する限りにおいて、主観に対して相関的にのみ存在するのと同じである（B164）。

さて、自然法則がそのようなものだとすれば、この世界には色々な出来事が生起しているが、それらに対して自然法則はどう関わっているのであろうか。

先ず、「何ものも盲目的偶然によっては生起しない」という命題は、ア・プリオリな自然法則である（B280）。つまり、感性界における一切の出来事は、恒常不変な自然法則に従って全般的に結合し連関している（B564）。それで、生起する一切のものは何れも原因を有する。この原因の原因性、即ち結果を生ぜしめる作用は、時間的に結果よりも前にあり、また結果は生起したものである。そうだとすれば、この原因性はこれ迄ずっと存在し続けて来たということはあり得ず、必ず生起したに違いない。そうすると、その原因はまた諸他の現象のうちにあり、これらの現象によって規定されるということになる（B570）。

そうだとすれば、「自由」の問題はどう考えればよいのか。感性界の全ての出来事は不変的自然法則に従って連関しているとすれば、自由は不可能ではないのか。かくてアンチノミーが登場する。カントは純粋理性が陥るアンチノミーを四組あげたが、決定論と自由に係るのは第三アンチノミーである。必然と偶然に係る第四アンチノミーも合わせて引用しておく[6]。

第三アンチノミー

定立：自然の諸法則に従う原因性は、世界の諸現象が悉くそこから導出され得る唯一の原因性ではない。諸現象の説明のためにはまだ自由による原因性を想定することが必要である。

反定立：如何なる自由もなく、世界の内にある全ては専ら自然の諸法則に従って生起する。

第四アンチノミー

定立：世界の部分として、そうでなければ世界の原因として端的に必然的な存在者である何かが世界には属している。

反定立：如何なる端的に必然的な存在者も、世界の内にも世界の外にも、世界の原因としてはそもそも実存在しない。

何故このようなアンチノミーが生じるのか。それは、人間の理性が、このようなアンチノミーに陥る諸命題を提出せざるを得ないようになっているからである。理性は、悟性概念を、経験的なものの限界を越えて、しかもそれでも経験的なものと結合しつつ拡張しようと試みる (B435)。

カントがこうしたアンチノミーをどのように解決したかを見る前に、「対立」とは何かを整理しておこう。対立には、下図のように、①矛盾対当、②反対対当、③小反対対当の三つがある：

①矛盾対当：一方が真ならば、他方は偽。

②反対対当：何れも偽であり得るが、共に真ではあり得ない。

③小反対対当：何れも真であり得るが、共に偽ではあり得ない。

全ての鳥は飛ぶ　　反対対当　　全ての鳥は飛ばない
矛　　当
盾　　対
盾　　対
矛　　当
若干の鳥は飛ぶ　　小反対対当　　若干の鳥は飛ばない

さて、カントは、第三、第四アンチノミーを力学的アンチノミーと呼ぶが、それらにおいては対立する二命題は小反対対当をなし、二命題とも真であると云う[7]。この場合、二命題は、論理的対立に必要とされること以下のものしか含んでいないからである。二命題の主語が両者において異った意味で受取られているケースがそうである。(「若干の鳥は飛ぶ」と「若干の鳥は飛ばない」とは見かけ上は対立しているが、第一の「若干の鳥」と第二の「若干の鳥」とは異るので、実際には何ら対立していない。)

これを第三アンチノミーについて見てみよう。カントは次のように云う。「諸現象が実際に存在する以外の何者とも見做されず、即ち、物自体と見做されるのではなく、経験的諸法則に従って連関する単なる表象と見做されるとすれば、諸現象それ自身は、諸現象ではない諸根拠を更に持たねばならない。しかし、そのような叡知的原因は、その結果が現象し、だから他の諸現象によって規定され得るにも拘らず、その原因性に関しては諸現象

によって規定されない。それ故、叡知的原因はその原因性と共に系列の外にある。これに対して、その諸結果は経験的諸制約の系列において見出される。従って、結果はその叡知的原因に関しては自由なものと見做され、けれども同時に諸現象に関しては自然の必然性に従った諸現象からの帰結と見做される。」(B565)

つまり、〈生起するもの〉という主語が、二命題において、「物自体」と「現象」という異った観点で受取られるならば、対立は単に小反対対当をなすに過ぎず、それ故、何れの命題も真であり得るということになる。

第四アンチノミーについて云えば、我々は偶然的なものを経験によってしか知ることが出来ないのに、ここでは決して経験の対象であるべきではないものが問題となっているのである(B594)。

駆け足ではあるが、以上が力学的アンチノミーについてカントの述べるところの要約である。小論がここでカントに触れたのは、近年の非線形科学の知見を取り入れれば、決定論と自由、必然性と偶然性の問題を、「物自体」と「現象」というような区分を設けることなしに捉えることが出来るのではないかと考えたからである。そのためには、必然性と偶然性とを定義し直す必要がある。次節では、必然性と偶然性の問題を、もう一度振り出しに戻って考えて行くことにしよう。

### §2. この世界はどう捉えられるか

第1章で見たように、偶然の存在をポアンカレは否定し、九鬼は肯定する。ポアンカレは、或る種のタイプの出来事が我々には偶然と見えるだけなのだと云い、九鬼は、偶然は「因果性以外の関係」として存在すると云う。ポアンカレは「男と屋根師」を、九鬼は「瓦とゴム風船」を例に挙げる。どちらも「互いに独立な因果系列の交叉の目撃」であることにかわりはない。違いは、「交叉」を、起るべくして起ったと見るのか、因果性以外の関係に従って起ったと見るのか、にある。果たして、偶然は存在するのか、しないのか。

しかし、ここに第三の見方があろう。偶然とは、深い秩序、隠れた調和の現れに他ならない、と。でも、我々はそれがどのような秩序、調和であるのかを知らない。それは隠されている。ここで偶然とは我々の無知の謂なのだという見方が復活する。

偶然を深い秩序の現れだとするこの第三の見方の一つにユングの共時性がある。ユングが挙げたのは「婦人とスカラベ」の例であった。この他にも、隠れた秩序は隠されたままではあろうが、それがどんなものであるかをほんの少しでも垣間見せてくれる鏡はあろう。そのようなものとして、(1)プリゴジンの自己組織化、(2)ボームの内蔵秩序、(3)チューの靴紐仮説、の三つを振返って見よう。

プリゴジンは、宇宙の根源は「混沌」にあり、そこから秩序が出現すると考える。ベースにあるのは混沌である。それに対して、ボームは「無限の秩序」こそが宇宙の根源であるとし、チューは「調和」こそが根源であると説く。

プリゴジンの思想を特徴づけるのは「分岐」という概念である。分岐は何度も繰返され得るが、系は分岐点から分岐点までは決定論的に進行し、分岐点においては、極めて小さな「ゆらぎ」がフィードバックされ、増幅されて、新しい状態が出現する。分岐点では夥しい数の分子が互いに連絡をとり合っているかのように、協調して、新しい秩序を生み出すのである。その場合、新しい状態は複数個あるが、その中のどれが選ばれるかは前以っ

ては予測出来ず、そのときになってみないと分らない。

このように、プリゴジンにあっては、「必然」と「偶然」とが系の歴史を作る。系の進展にとって、必然と偶然とは両者ともに欠かすことは出来ない。そして、偶然は根源的である。つまり、偶然は他の何ものにも還元され得ない。偶然を他の何かによって説明することは出来ないし、説明する必要もない。系の時間発展を表す方程式で、分岐点において複数の状態のうちどれが選択されるかについて、特定の解を優先させるものは何もない。それは「確率」的にしか云えず、その場合の確率とは他に還元出来ない原理である。しかし、系は、分岐点において出鱈目に振舞っているわけではない。確率の法則には従っているのである。かくて、プリゴジンは云う：「今や創発しつつあるのは、決定論的世界と、偶然性だけからなる恣意的世界という二つの人間疎外的な描像の間の中間的な記述である。世界は法則に完全に支配されているものではないし、世界はまた全くの偶然に支配されている訳でもない。」[8]

さて、このようなプリゴジンの説は、確率をそれ以上還元不可能なものとして扱うので、「確率とは何か」に答えない。分岐点で一体何が起っているのだろうか。或る状態が選ばれ他の状態は選ばれないとは、結局どういう事態なのだろう。どの状態が選ばれるかは「確率的に決まる」のだとしても、確率的に「決まる」とは、何を意味するのだろうか。こうしたことを突き詰めて行ったのがボームである。

種々の断片が全てばらばらな存在であるとする見方を否定し、「全体性」を説くボームにとって偶然は存在しない。偶然の出来事とは自然の深層に横たわる何らかのパターンの現れであり、非因果的な連結原理の結果である。ボームによれば、混沌とは捉えにくい秩序であり、この宇宙の一切は、内蔵秩序の包み込み、抜き出す、止むことのない全体運動である。内蔵秩序を「運ぶ」ものは全体運動であり、それは分断も分割もされない一つの総体である[9]。宇宙はまさに「流れる」ものであり、存在するのは「運動」である。また心と身体とは、より高次の根拠からの射影である。

このようにボームの描く世界は極めてダイナミックで魅力に富んだ世界であるが、ここに一つの疑問がある。それは、一切が内蔵秩序の包み込み／抜き出しによって説明されるとするならば、小説において発生する全ての出来事は予めどこかの頁に書き込まれているように、過去から未来にわたってこの世界で生起することは、そのどれもが既に決定され、内蔵秩序として共在しているのであり、歴史とは単にそれが順次抜き出されて来る過程に過ぎないのではないか、という疑問である。それは、既に書かれた小説を読んで行くのと同じであり、全ては予め決まっている。そこに「進化」の余地は存在しないのではなかろうか。

これについて、ボーム自身は、原因が結果を生じさせるといった過程を通して後に来るものが前に現れたものから完全に導出される訳ではなく、運動というものは基本的に多次元根拠から射影された新たな内容の創始なのだ、と主張している。ボームによれば、生命の進化とは、次々生じる様々な生命形態が創造的に抜き出されて来ることであるが、この抜き出しの法則を正しく理解するには広大な多次元の実在を考察から外すことは出来ない。何故なら、そのような抜き出しの法則自体がその実在の射影だからである、と[10]。

ボームのこうした説明は分かり易いものとは云えないが、チューの靴紐仮説は、新しいものの創発の仕組、そして、物事の生起は必然でも偶然でもないことを簡単に示してくれ

る。夫々が夫々を支え合い、夫々が夫々に影響し合って、全体が進展して行くということは、「外」からそれらを決定し、動かしているようなものは存在しないということであるとともに、また、それらが恣意的に動くというようなことも決してないということである。夫々が影響し合うことで全体が進行し、展開して行くのであるから、物事は予め決まっているのでもなければ、出たとこ勝負で決まる訳でもない。その意味で、一切の出来事は必然的でもなければ偶然的でもない。一切は「調和」して生起する。このように、宇宙は、夫々が関係し合うことによって織られつつある「織物」であるから、それは全体として成長するものであり、その内には、今までなかったような新たな物事も生まれて来るであろう。

靴紐仮説は単に言葉だけのものではない。物理学としても、チューとその共同研究者達は、物質的クォークの存在を仮定せずに、この靴紐仮説だけを使って、従来のクォーク・モデルに特有のものとして得られていた結果を導出することに成功した。つまり、クォーク構造は秩序の顕現、あるいは自己調和の必然的結果であり、クォークをハドロンの物質的構成要素として仮定する必要は一切ないのである[11]。

このような成果にも拘らず、靴紐仮説は広く認められているとは云い難い。それは、如何なる知識の体系も堅固な基盤に依らなければならないという思い込みが、西洋の科学と哲学の歴史全体に根強く存在するからである。どの時代の科学者も、知識を記述するために、建築の比喩を使って来た。物理学者は物質の「基本的レンガ」を探し求めて来たのであり、「素粒子」論もその線上にある。チューの靴紐仮説はそのような伝統を根本から覆すものであり、物理学者に受容されるのが難しかったのも無理はない。チューの仮説は建築の比喩にかえて織物の比喩を使うが、織物においてはどの部分も同じ資格を有し、どれが基本的で、どれがそうでないということはない。

靴紐仮説によれば、厳密には全体が分らなければ部分も分からないことになるが、近似としてならば、それぞれの範囲に有効な一連の理論を作ることは可能である。理論そのものが相互に調和のとれたネットワークをなし、どれが基本的な理論ということはないのである。それらのどれ一つとして堅固な基盤の上に立つ訳ではなく、そしてそのどれもが限界を有する。かくて、全ての科学的概念と理論は真のリアリティに対する近似である。

以上、三つの説に共通しているのは、系の要素が互いに影響を及ぼし合うことによって、系が時間発展して行くという描像である。ホワイトヘッドの『過程と実在』や『観念の冒険』で説く有機体哲学は、それがどういう事態であるのかを哲学的に説明している。ただし、ホワイトヘッドは最終的に神の存在を仮定せざるを得なかった。第6章で見たように、互いに互いを支え合い、影響を及ぼし合うだけでは、いずれ混沌に陥ってしまわざるを得ないだろう、というのである。これは、これらの著作が書かれた時点（夫々1929年、1933年）では自己組織化などを生み出す非線形科学が未だ知られていなかったということもあるが、先に触れた西洋の哲学的、科学的伝統に影響されるところも大きかったであろう。

ところで、夫々が夫々に影響し合い、支え合っていることを指して、先ほどは、どんな物事の生起も、必然的でもなければ、偶然的でもないのだと云った。しかし、夫々は他の夫々によって「決まる」のだから、そう呼びたければ、夫々は「必然的に」そうあるので

ある[12]。どの物事も独立ではない。どの一つもそれ単独で自存することは出来ない。そうした意味では全てが「必然」なのである。しかし、物事のうちには、我々には「偶然」としか思えないようなものも確かに存在する。小論の冒頭で述べたラプラスの偶然やポアンカレの偶然もそのようなものであろう。ラプラスは偶然を我々の無知に帰するし、ポアンカレは、偶然とは小さな原因が大きな結果を齎す場合や、原因が極めて複雑な場合をそう呼ぶのだと云う。

これは、喩えて云えば、必然という平原の中に、ところどころ偶然と呼ばれる林が存在するということである。もともとは全域が必然なのであるが、林の部分を偶然と呼ぶことにしたので、必然とはその残りの部分だということになる。しかし、どの部分が草原であり、どの部分が林であるか、画然と分かれている訳では決してない。「無知」(ラプラス)や「大小」「複雑」(ポアンカレ) などということは相対的なことである。従って、必然と云い、偶然と云っても、境界は画定しておらず、曖昧なものにとどまらざるを得ない。そこから、「必然であり、かつ偶然である」ということや、「必然でもなく、偶然でもない」ということが起り得る。これは矛盾律や排中律を犯している訳ではなく、必然や偶然という概念の適用範囲が不明確なことに由来するものである。それは「熱い」と「熱くない」との間に明確な一線を引くことが出来ないのと同じである。

こうして必然性とか偶然性とかは相対的な概念なのだという見方に導かれたが、それはまた、物事はどういう尺度で見るかで、必然的ともなれば偶然的ともなる、という考えに通じる。カップに注がれたコーヒーについて、一分先の温度の予測は難しいが、一時間先の温度ならわけなく予測出来る (そのときには室温と同じになっているであろう)。空間的にも、局所的には予測出来ないが大局的には安定しているということがあろう。スケールのとり方次第で、必然的であるとも云えれば偶然的であるとも云えるのである。

矛盾律や排中律について云えば、我々は「A かつ非 A である」ことに悩み、「A でも非 A でもない」ことに新たな活路を見出す。その意味では矛盾律や排中律そのものを問題にすることも出来るのであるが、これについてはこれ以上深入りしない。

上記は、夫々が夫々を支え合い、夫々が夫々を決定し合っていることをもって、物事の生起は「必然的」だと呼んだことから来る帰結である。しかし、それはそう呼んだだけの話であり、そう呼ばなければならない理由はない。この世界では夫々が夫々に影響し合い、相互に決定し合っているということは自明のことだとすれば、そこにわざわざ必然性とか偶然性とかの概念を持ち込むには及ばない。そうした概念を導入しなければならない「必然性」がないのである。それらの概念を持ち込むことは、混乱を来たすだけである。こうして、再び、この世界には必然性も偶然性もないのだという見方に立ち帰ることになる。しかし、例えば、両手を合わせてお椀のようにし、そこに釘を一杯に盛るとしよう。両手を左右に離せば、どの釘も一本残らず落下するではないか、それは必然ではないのかという反論があろう。いやそうではないのである。落ちない釘があればそれは全体の調和を乱す。夫々が夫々に影響し合っているとすれば、一本だけが孤立して落下しないということはあり得ない。

必然性も偶然性もないという上記の見方を裏返せば、必然性と偶然性とは一体であると

いう見方に繋がる。ボームの水槽中の魚を思い起そう。水槽の正面からと真横からと、二つのテレビカメラで撮った「二つ」の魚は、同じ「一匹」の魚の射影である。現実の魚はそれらの射影を超越した存在である。必然性と偶然性についても似たことが云えないだろうか。必然と云い、偶然と云うのは、同じ一つの現実を別々の角度から見るからそうなるのである。第1章で引用したスピノザの回転する半円のように、必然性と偶然性とは同じ事態の表と裏に過ぎない。必然性と偶然性とは別々に存在するわけではない。回転する半円は、それ単独で見る限り、原因もなく、意味もなく、ただ回っている。それは偶然に回転しているとしか云い様がない。そこには必然性が全く欠如している。しかし、その必然性は我々がそれを単独に見る限りで欠如しているのであって、回転する同じ半円がそれの原因やそれが生み出す球の概念と結びつけられて見られるならば、そこには豪も必然性に欠けるところはない。だから、同じ半円が偶然とも見られ、必然とも見られる。即ち、同じ事態の表が必然だとすれば、裏が偶然なのである。

以上、物事の生起は必然的でもなければ偶然的でもないという考えや、必然性と偶然性とは同じ事態の表裏であるという考えを見て来た。では、こうした考えは、前節で述べた方程式の問題とどう関係するのだろうか。

方程式には、線形方程式と非線形方程式とがあり、後者は、必然性と偶然性とが一体となっているような系の振舞を記述する。従来は、或る系の従う方程式を書き下すことが即ちその系を理解することだと考えられていた。しかし、方程式が非線形のときには、多くの場合、それを書き下すことは出来ても、「解く」ことは出来ない。解けなくても、計算機を使えば数値計算は出来るが、非線形の場合には、そうした数値計算から出て来るのは偶然的な結果でしかなく、予測には使えない。即ち、非線形方程式においては、線形方程式とは異り、初期値の僅かな違いによって結果に大きな差が生じたり、途中で発生した不確定性や誤差（個々の計算を有限の桁数で打ち切らざるを得ないことから生じる）が減衰も相殺もされず、逆に保存され、拡大され、それらによって結果は予測不可能となるのである。必然的な方程式の中に偶然性が不可避的、本質的に潜んでいる、それが非線形方程式である。

ところで、非線形な系は決して珍しいものではない。それは身の周りにあふれている。水道の蛇口から滴り落ちる水滴、川の流れが石の後に見せる渦巻、あるいは空を行く雲の動き、これらを記述するのも非線型方程式である。方程式が線形となるのは、十分に制御され、あるいは他から十分に隔離された系を記述する場合に限られる。そのような系だけを、従来の物理学は対象としていたのであった。即ち、十分慎重に整えられた実験装置内での出来事や、太陽系という、宇宙の他の部分から十分に隔離された系での特殊な出来事である。

しかし、他から完全に隔離された系というようなものは、実際には、存在しない。現実には、系は、多かれ少なかれ外部からの影響を受けるのであるが、それを無視することで線形方程式による記述が得られる。そして、線形方程式では、初期値が与えられれば、将来は全て決まってしまう。だから、結局、外部からの影響を無視することによって、系の必然的な進展という描像が齎されるのである。ところで、外部からの影響を無視するとは、系をそれ単独で完結したものと見做すことであり、それは、つまりは、系を単純化し、理

想化することに他ならない。従って、必然性とは単純化、理想化の産物ということになり、その意味で、必然性とは極限概念である。

一方、偶然性とは、フォン・ミーゼスの云う「偶然性の公理」(第４章)が成立っているような、究極の無秩序状態のことだと考えよう。そうすると、この偶然性もまた、単純化、理想化に基く極限概念であり、必然性の対極に位置するものである。だから、九鬼の云うように必然性の否定が偶然性なのではない。必然性も偶然性も、単純化され、理想化された極限の一点である。それらを両端とする、中間の広大な領域、そここそが現実の系の活動する場である。自己組織化やカオスというような現象―決して珍しいものではなく、日常ありふれた現象―もそこで起っているのである。

以上を要するに、物事の生起は必然的でも偶然的でもないという考えや、必然性と偶然性とは同じ事態の表裏であるという考えも、結局は、必然性、偶然性とは、物事を単純化、理想化することで得られる極限概念であるという考えに収束すべきものであったのである。そして、このように考えれば、カントのように物自体と現象というような区分を設けなくても、必然／偶然や、決定論／自由のアンチノミーは解けるのである。

さて、必然性や偶然性が極限概念だとすれば、それらは一種の虚構だということになろう。そして、同じような意味で、「確率」も虚構なのである。論理説、主観説などが扱う認識論的な確率は人間の頭の中だけにしか存在しないのは勿論であるが、頻度説や傾向説などでいう確率も頭の産物である。何故そうなのかと云えば、先ず、因果関係は個別の現象の間に成立つものではないことに注意しよう。ヒュームの云うように因果関係とは恒常的な随伴関係だとすると、一回きりの現象に因果関係は云えない。現象を恒常的な関係として捉えるには、個別の現象をその特徴に従ってクラスに纏める必要がある。因果関係、つまりは恒常的な随伴関係とは、このクラスとクラスとの間の関係である。確率も同じである。一回きりの現象に確率をいうのは言葉の矛盾である。今朝、通勤の途上で、何十年来会わなかった中学時代の友人に出会った。そこにどんな「確率」が云えるだろうか。傾向説では単独事象の確率ということが強調されるけれども、その背後には「反復可能な状況」が想定されている。それを前提に、始めて確率ということが云われ得るのである。そして、それがつまりは個別事象をクラスに括るということである。一方、頻度説では、「頻度」という以上はもともと現象をクラスに纏めて考えているのである。骰子の１の目は、どこで生じた１も、１は１であり、そう括ることで頻度ということが云われ得る。このように傾向説や頻度説でいう客観的な確率はクラスについて云われるものであるが、クラスは虚構である―どのように括るかは人間が言葉によってそう括っているのであり、自然そのものの中にそういう仕切りが存在するわけではない―から、その意味で、確率も虚構である。

金庫に入れられた半減期が一日の放射性元素の場合、24時間後には半分の原子が崩壊しているであろう。しかし、どの原子が崩壊するかを予め予測することは出来ない。我々は、個々の原子が24時間後に崩壊している「確率」は１／２である、と云うが、これは何を意味しているのだろうか。既述のように、金庫の内や外、つまりは宇宙の一切との関わりのなかで、或る原子は崩壊し、別の或る原子は崩壊せずに残る。そうした原子を、途中で崩壊したものと24時間後まで残ったものとのクラスに括れば、二つのクラスはどちらもほぼ同数の原子から成ることが実験で確かめられるだろう、というのが、確率が１／２であると

いうことの意味に他ならない。一つ一つの原子がどういう経過を辿るかは、全体との関係のなかで決まる。それは予め決まっているのでもなければ、出鱈目に決まるのでもなく、そして、夫々は何れも一回切りの現象である。それらを二つのクラスに括るのは、人間がそう括っているだけのことである。

また、ボルンによるシュレーディンガーの波動関数の確率解釈にしても、波動関数が単一の微視的対象の振舞をそのまま記述しているのではなく、多数の同種の対象の集り―クラス―の統計的な振舞を表現しているのだという解釈である。

確率には様々な解釈があり得ようが、どういう解釈をとろうとも、偶然が確率の対象なのではない。偶然は確率の対象となり得ない。確率という考えを可能にしているのは、物事は偶然によっては決まらないということである。物事が全くの偶然や出鱈目によって起るのだとすれば、そこにどのような「確率」が云えようか。無規則に見えるものの中に存在する規則、無秩序に見えるものの中に存在する秩序、それこそが確率の対象である。それは、言葉をかえて云えば、原因の分布ということである。第4章で述べたように、原因がどのように分布しているか、それを数値に反映するのが確率である。

偶然とは隠れた原因に他ならず、蓋然性は原因に基く、とヒュームは主張した。小論は、必然性、偶然性、確率の三者を総括して、次のように云いたい：必然性、偶然性は極限概念であり、それらを両極として蓋然性の世界がある。そして、蓋然性は原因に基いており、確率はこの原因の分布ということから生まれた概念である、と。

原因の分布というからには複数の原因が並存している訳であるが、どの原因が選ばれどの結果が生じるかは、全体との関わりの中で決まることである。放射性元素の崩壊の例で云えば、金庫の中のどの原子が崩壊するかは、夫々の原子と、金庫の内や外に存在するその他一切のものとの関係によって決まって来るのである。

それでは、このような見方に立つとき、秩序や渾沌とは何であろうか。先に述べたように、一般に自然現象を論じるには、他から隔離された系―閉じた系―を想定し、その中で起ることを追跡するというのが従来のやり方であった。しかし、バタフライ効果や放射性元素の崩壊の例でも分るように、完全に閉じた系などというものは実際には存在しない。宇宙のはての一つの電子の消滅がいまここの出来事に影響を及ぼしかねないのである。しかし、そうではあっても、我々は、自然現象を論じるに際して、何がしかの「閉じた」系を想定しない訳には行かない。「全て」を考慮に入れることなど現実には出来ないからである。それで、何らかの方法で割り切って、系を閉じたものとするのであるが、その場合でも、系の内と外とは相互に影響し合う。それは、系の中の要素どおしの相互作用に較べれば微細であろう（そうなるように系を設定したのである）、しかし、ゼロではない。系の外から系の内の要素への影響、それが「小さな不確定性」や「誤差」などと呼ばれるものの正体である。そうしたものによって惹き起される系の「ゆらぎ」[13]は、系が線形の場合には相殺され、減衰するが、非線形な場合には保存され増幅される。それによってカオスが生まれ、自己組織化が生じる。第6章で見たように、秩序や新規なものは、このゆらぎを通して生まれて来るのである。

しかし、それでは、宇宙の原初のゆらぎは何から生まれたのであろうか。これには、そもそも「原初」とは何を意味するのかという問題も含まれている[14]。こうした問題については、ゲーデルの不完全性定理が示唆するように、最早、完全な理論というのはあり得な

いのだろうか。世界は理論で説き明かすことの出来る以上の存在である。チューによれば、理論もまた夫々が夫々を支え合っているのであり、一切の理論がそこから導き出せるような特別な理論がある訳ではない。だとすれば、互いに互いを支え合うように理論の網を織り続けて行ったとしても、全てが分るということは原理上あり得ないのではないか。それは、次々に同じ構造が現れるフラクタルにも喩えることが出来るだろう。

1．Gell-Mann,M.(1994) 邦訳 263-4 頁。
2．Barrow,J.D.(1999) 邦訳 189-190 頁。
3．同 191 頁。
4．Barrow,J.D.(2000) 邦訳 384 頁。
5．同 387-8 頁。
6．Kant,I.(1781,1787) 邦訳（中巻）159-60 頁および 167 頁（平仮名を適宜漢字に改めた）。
7．これに対して、第一、第二アンチノミーは数学的アンチノミーと呼ばれ、それらにおいては対立する二命題は反対対当をなし、二命題とも偽であるとされる。

第一アンチノミー

定立：世界は時間において始りを持ち、空間に関しても限界の内に囲まれている。

反定立：世界は如何なる始りも持たず、空間における如何なる限界も持たない、むしろ世界は時間に関しても空間に関しても無限である。

第二アンチノミー

定立：世界における各々の合成された実体は単純な諸部分から成立ち、そもそも単純体、あるいはこの単純体から合成されているもの以外の何者も実存在しない。

反定立：世界における如何なる合成された物も単純な諸部分からは成立たず、世界の内にはそもそも如何なる単純体も実存在しない。

8．Prigogine,I.(1997) 邦訳 159 頁。
9．Bohm,D(1980) 邦訳 260 頁。
10. 同 354 頁。
11. Capra,F.(1988) 邦訳 62-3 頁。
12. 伝統的には、「他」に依る存在は、偶然的な存在であるとされている。
13. ゆらぎには各種のものがあり、その起源も色々考えられるであろうが、ここで述べたのはそのうちの一つである。
14. 宇宙に時間的な始りがあるのかどうかは、カントの第一アンチノミーで問題にされている。

**文献**

*Bhagavadgītā*. 宇野惇訳「バガヴァッド・ギーター」、『世界の名著１、バラモン経典、原始仏典』(1979、中央公論新社).

*Bṛhadāraṇyaka Upaniṣad*. 服部正明訳「ブリハッド・アーラヌヤカ・ウパニッシャッド」、『世界の名著１、バラモン経典、原始仏典』(1979、中央公論新社).

Barrow, J. D. (1999) *Between Inner Space and Outer Space:Essays on Science, Art and Philosophy*, Oxford University Press. 松浦俊輔訳『単純な法則に支配される宇宙が複雑な姿を見せるわけ』(2002、青土社).

Barrow, J. D. (2000) *The Universe That Discovered Itself*, Oxford University Press. 松浦俊輔訳『宇宙に法則はあるのか』(2004、青土社).

Bohm, D(1980) *Wholeness and the Implicate Order*, Routledge & Kegan Paul Plc. 井上忠・伊藤笏康・佐野正博訳『全体性と内蔵秩序』(1996、青土社).

Borel, E. (1938) *Valeur pratique et philosophie des probabilités*, Paris. 三田博雄訳『蓋然性の哲学』(1942、創元社).

Borel, E. (1950) *Probabilité et Certitude*, PUF. 弥永昌吉・高橋礼司訳『確率と確実性』(1952、クセジュ文庫).

Briggs, J. and Peat, F. D. (1989) *Turbulent Mirror:An Illustrated Guid to Chaos Theory and the Science of Wholeness*, Harper and Row. 高安秀樹・高安美佐子訳『鏡の伝説』(1991、ダイヤモンド社).

Capra, F. (1988) *Uncommon Wisdom: Conversations with Remarkable People*, John Brockman. 吉福伸逸・田中三彦・星川淳・上野圭一訳『非常の知』(1988、工作舎)

Cassirer, E. (1936) *Determinismus und Indeterminismus in der modernen Physik*, Göteborgs Högskolas Årsskrift. 山本義隆訳『現代物理学における決定論と非決定論』(1994、星雲社).

Casti, J. L. (1994) *Complexification:Explaining a Paradoxical World through the Science of Surprise*, Harper Collins Publishers. 佐々木光俊訳『複雑性とパラドックス』(1996、白揚社).

Casti, J. L. and DePauli, W. (2000) *Gödel:A Life of Logic*, Perseus. 増田珠子訳『ゲーデルの世界』(2003、青土社).

Chaitin, G. J. (1998) *The Limits of Mathematics*, Springer-Verlag. 黒川利明訳『数学の限界』(2001、エスアイビー・アクセス).

Chaitin, G. J. (2005) *Meta Math!*, Pantheon Books. 黒川利明訳『メタマス！』(2007、白揚社)

Cramér, H. (1946) *Mathematical Methods of Statistics*, Princeton University Press.

De Finetti, B. (1930) 'Fondamenti Logici del Ragionamento Probabilistico', *Bollenttino dell' Unione Matematica Italiana* 5:1-3.

De Finetti, B. (1937) 'Foresight:Its Logical Laws, Its Subjective Sources', English translation in H. E. Kyburg and H. E. Smokler(eds.), *Studies in Subjective Probability*, Wiley, 1964, 93-158.

Descartes, René (1647) *Les Principes de la Philosophie*. 井上庄七・水野和久訳「哲学の原理」(1967、『世界の名著22』、中央公論社)

Feller, W. (1950) *Introduction to Probability Theory and Its Applications*, second edition, 1957, Wiley. 河田龍夫監訳『確率論とその応用 (上)』(1960、紀伊国屋書店)

Gell-Mann, M. (1994) *The Quark and The Jaguar*, W. H. Freeman & Co. 野本陽代訳『クォークとジャガー』

（1997、草思社）.

Gillies, D. (2000) *Philosophical Theories of Probability*, Routledge. 中山智香子訳『確率の哲学理論』（2004、日本経済評論社）.

Hume, D. (1739) *A Treatise of Human Nature.* 木曾好能訳『人間本性論第一巻』（1995、法政大学出版局）.

Kant, I. (1781, 1787) *Kritik der reinen Vernunft.* 有福孝岳訳『純粋理性批判』（2001（上）、2003（中）、岩波書店）.

Keynes, J. M. (1921) *A Treatise on Probability*, Macmillan.

Kolmogoroff, A. N. (1933) *Grundbegriffe der Wahrscheinlichkeitsrechnung*, Berlin. 根本伸司・一條洋訳『確率論の基礎概念』（1969、東京図書）.

Laplace , P. S. (1814) *Essai Philosophique sur les Probabilités.* 内井惣七訳『確率の哲学的試論』（1997、岩波文庫）.

Leibniz, G. W. (1686) *Discours de métaphysique.* 清水富雄・飯塚勝久訳「形而上学叙説」、『世界の名著30、スピノザ、ライプニッツ』（1980、中央公論新社）.

Leibniz, G. W. (1714) *Monadologie.* 清水富雄・竹田篤司訳「モナドロジー」、『世界の名著30、スピノザ、ライプニッツ』（1980、中央公論新社）.

Levy, P. (1970) *Quelques Aspects de la Pensée d' un Mathématicien*, A. Blanchard. 飛田武幸・山本喜一訳『一確率論研究者の回想』（1973、岩波書店）.

Newton, S. I. (1687) *Philosophiae naturalis principia mathematica*, London. 河辺六男訳「自然哲学の数学的諸原理」（1979、『世界の名著 31』、中央公論社）.

Peat, F. D. (1987) *Synchronicity: the Bridge between Matter and Mind*, Bantam Books, inc. 管啓次郎訳『シンクロニシティ』（1989、朝日出版社）.

Peirce, C. S. (1910) 'Notes on the Doctrine of Chances', Reprinted in *Essays in the Philosophy of Science*, Bobbs-Merrill, 1957, 74-84.

Poincaré, H. (1908) *Science et Méthode.* 吉田洋一訳『科学と方法』（1953、岩波文庫）.

Popper, K. R. (1959) *The Logic of Scientific Discovery*, Hutchinson. 大内義一・森博訳『科学的発見の論理』（1971－2、恒星社厚生閣）

Popper, K. R. (1982 a) *The Open Universe: An Argument for Indeterminism*, Routledge. 小河原誠・蔭山泰之訳『開かれた宇宙』（1999、岩波書店）.

Popper, K. R. (1982 b) *Quantum Theory and the Schism in Physics*, Routledge. 小河原誠・蔭山泰之・篠崎研二訳『量子論と物理学の分裂』（2003、岩波書店）.

Popper, K. R. (1983) *Realism and the Aim of Science*, Routledge. 小河原誠・蔭山泰之・篠崎研二訳『実在論と科学の目的（下）』（2002、岩波書店）.

Popper, K. R. (1990) *A World of Propensities*, Thoemmes. 田島裕訳『確定性の世界』（1995、信山社）.

Prigogine, I. and Stengers, I. (1984) *Order out of chaos－Man's New Dialogue with Nature* , Bantam Books, New Yoyk. 伏見康治・伏見譲・松枝秀明訳『混沌からの秩序』（1987、みすず書房）.

Prigogine, I. (1997) *The End of Certainty-Time, chaos, and the New Laws of Nature*, The Free Press. 我孫子誠也・谷口佳津宏訳『確実性の終焉』（1997、みすず書房）.

Ramsey, F. P. (1926) 'Truth and Probability', in Ramsey, 1931, 156-98. Reprited in H. E. Kyburg and H. E. Smokler (eds), *Studis in Subjective Probability*, Wiley, 1964, 61-92. 伊藤邦武・橋本康二訳『ラムジー哲学論文集』（1996、勁草書房）.

Schrödinger, E. (1943) *What is Life? —The Physical Aspect of the Living Cell*, Cambridge University Press. 岡小天・鎮目恭夫訳『生命とは何か』(1975、岩波書店)

Schrödinger, E. (1985) *mein Leben, meine Weltansicht*, Paul Zsolnay Verlag. 橋本芳契・中村量空・早川博信・橋本契訳『わが世界観』(1987、共立出版).

Sheldrake, R. (1981) *A New Science of Life: the hypothesis of formative causation*, Muller, Blond & White Ltd. 幾島幸子・竹居光太郎訳『生命のニューサイエンス』(1986、工作舎).

Spinoza (1677) *Tractatus de Intellectus Emendatione*. 畠中尚志訳『知性改善論』(1968、岩波書店).

von Franz, M.-L. (1980), *On Divination and Synchronicity: The Psychology of Meaningful Chance*. Inner City Books. 濱野恵一・治部真里訳『偶然の一致の心理学』(1990、たま出版).

von Mises, R. (1928) *Probability, Statistics and Truth*, J. Springer.

Whitehead, A. N. (1920) *The Concept of Nature*, Cambridge University Press. 藤川吉美訳『自然という概念』(1982、松籟社).

Whitehead, A. N. (1929) *Process and Reality*, Cambridge University Press. 山本誠作訳『過程と実在』(1985、松籟社).

Whitehead, A. N. (1933) *Adventures of Ideas*, Cambridge University Press. 山本誠作・菱木政晴訳『観念の冒険』(1982、松籟社).

Whitehead, A. N. (1948) *Science and Philosophy*, The Wisdom Library. 蜂谷昭雄・井上健・村形明子訳『科学・哲学論集』(1987、松籟社).

Wittgenstein, L. (1922) *Tractatus Logico-Philosophicus*, Routledge and Kegan Paul. 奥雅博訳『論理哲学論考』(1975、大修館書店、ウィトゲンシュタイン全集1).

Wittgenstein, L. (1964) *Philosophische Bemerkungen*, Basil Blackwell. 奥雅博訳『哲学的考察』(1978、大修館書店、ウィトゲンシュタイン全集2).

岡潔 (1963)『春宵十話』、毎日新聞社.

金子邦彦・津田一郎 (1996)『複雑系のカオス的シナリオ』、朝倉書店.

九鬼周造 (1935)『偶然性の問題』、岩波書店.

蔵本由紀 (2007)『非線形科学』、集英社.

末木剛博 (1976)『ウィトゲンシュタイン論理哲学論考の研究Ｉ』、公論社.

野崎昭弘 (2006)『不完全性定理』、ちくま学芸文庫.

広中平祐 (1992)『学問の発見』、佼成出版社.

伏見譲 (1982)「生物における偶然と必然」、東京大学出版会『必然と偶然』.

南方熊楠 (1971)『南方熊楠全集７』、平凡社.

和田純夫 (1994)『量子力学が語る世界像』、講談社.