

偶然を手なずける運動としての探索

An exploratory scheme taking advantage of chance events

松野孝一郎

Koichiro Matsuno

長岡技術科学大学

Nagaoka University of Technology

Bayes' theorem serves as a means of integrating both activities of confirming a hypothesis upon a fact and anticipating the fact upon the hypothesis in a unified manner. The agency of unification is a Bayesian subject that can be any organism at large, and is not necessarily limited to a human subject. What is unique to the Bayesian subject is that it has the capacity of making the probability of its own occurrence approach unity from within. The Bayesian subject can thus serve as an agency taking advantage of chance events of whatever sort for the sake of the exploratory endeavor of keeping its own identity with probability unity.

1 はじめに

探索という運動は、通常の物理運動とは異なるように見えます。しかし、この探索運動はすでに、物理運動の中に深く入り込んでいます。

一例をあげます。確率的な運動を取り上げてみます。運動が確率的であるのは、普遍的で、その確率運動を記述対象に選んだとき、一つの強い条件が加わります。確率1を担うものの明示です。確定性が求められる記述には、確率1への探索が避けられません。

確率的な個別対象に決定性を課し、そこに確率1の成立を探索した先駆者に、ベイズがあります。その例示をデ・フィネッティに従って、賭けごとと師と賭け元の関係に求めてみます(de Finetti 1937)。個々の賭けごとは確率的でしかありません。そうでありながら、賭け元が採用する確率論は特殊です。自分は決して破産しない、との規則を合法的に採用することにより、賭け率を確率公理に従う確率と見なすことが可能になりました。確率公理が前提ではなく、帰結とする反転がこの背景にあります。

ここで、確率公理から見れば、なんでもない事象が、尤度をも確率とみなすベイズの確率論から見れば、意義深い内容を獲得します。ベイズの確率論の特徴は、事前と事後を対比する観測に基づいて、条件付き確率を可能とすることにあります。その内部観測に基づく確率を、便宜上、主観的確率と称しています。デ・フィネッティのダッチ・ブック論証によって証明されたベイズの定理は、そのことを明瞭に表します。

ベイズの確率論に立つならば、ある事象 A が生じてから、紆余曲折を経て、再び A が生じる、その生起確率は必ず1となります。直観には反しながら、それを保証するのがベイズの定理です。事象 B が生じたとの前件の下で後件である事象 A が生じるとの条件付き確率 $P(A|B)$ は、それをコルモゴロフの確率公理の枠内で捉えるならば、等式 $P(A|B) = P(A \cap B) / P(B)$ を満たします。ここで $P(A \cap B)$ は事象の積 $A \cap B$ の生起確率、 $P(B)$ は事象 B の生起確率です。ここにおいて、B が A と同じであるとしますと、積 $A \cap A$ は事象 A と同一であるため、 $P(A|A) = 1$ が成り立ちます。条件の設定と事象の指定が同時であるとする確率公理にあっては $P(A|A) = 1$ は正当でありながら、ベン図が示すように、その内容は空虚です。事象 A をタイプとして捉えるかぎり、恒等

式でしかあり得ません。確率公理の枠内では、対象となるのは個別のトークンではなく、あくまでもタイプに限定されています。

それに引き換え、条件の設定と事象の指定とが事前と事後の関係にあり、それぞれが個別的あるとするベイズの確率論にあっては、等式 $P(A|A) = 1$ は新たな意義を獲得します。対象を同一タイプ A に属する個々のトークンに絞りますと、同じタイプに属する、相異なるトークンの繰り返しが一度生じたならば、同じことを何度も繰り返すのを、経験の場で保証します。手にしている資源は、資源獲得のために採用した探索仮説が正しかったことの証であると同時に、その仮説を引き続き採用することへの保証までも与えます。

この結論の意義は、確率1で生起する継起事象をそれとして見定めるなにものが内部観測体として理論のなかで保証されており、それは当の賭け元を措いて、他にない、とする事態です。 $P(A|B) = P(B|A)P(A) / P(B)$ と表記されるベイズの定理にあっては、条件と事象の同定が同時ではあり得ないことを、容認しています。条件 A を設定してからの事象 B の観測を、条件 B を設定してからの事象 A の観測と区別し、かつその相反する二つのトークンを互いに整合する仕方では統合するのが、他ならぬベイズの主観としての内部観測体です。恒常、不変なタイプに固執する外部観測者には適わぬ統合を可能とするのが内部観測体です。仮説の事後の確かさを事実の事前予測と一体化し、統合するのが、ベイズの主観としての内部観測体です。このベイズの確率論の行使はベイズの主観に限定されています。汎用ではありません。しかし、主観的でしかない内部観測体は、客観的な対象です。賭け元、呑み屋が賭けごとをしごとく生業としているのは、否定しがたい客観的な経験事実です。

2 確率1を志向する運動体

ベイズ流解釈の確率の特徴は、それに対比される頻度解釈の確率に較べることによって、より明らかになります。頻度解釈に基づく確率論の基本は頻度分布の存在にあります。参照すべき頻度分布がいつも保証されていることにおいて、頻度分布そのものの生起確率は、少なくとも1であります。しかし、その頻度分布を対象化するの外部観測者としての経験科学者です。かつその経験科学者が参照するのは、頻度分布をもたらす物理機構であって、ボルツマンによる分子混沌仮説はその典型例です。そのため、頻度分布の生起確率を1にするのは外部観測由来の抽象であって、内部観測体が直接に経験する生起確率1と比較して、間接的にならざるを得ません。

一方、内部観測由来であるベイズ流解釈の確率にあつては、内部観測体が直接に、生起確率1で生起する事象を予測し、かつそれを実現する当事者になります。外部観測体にあつては予測と検証は分離されながら、内部観測体にあつては、この二つは不可分です。予測を伴わない検証はあり得ません。このとき、ある事象から出発してさまざまな途中経過の後に再び同じ事象にいたる生起確率が1であるならば、その間、次から次に生じる個々の事象の生起確率も当然ながら、それぞれ1になります。このことは、なにが途中経過を構成する個々の事象であるのかの判定までも、それらの事象より産みだされてくる内部観測体に、一方的に委ねることになります。

存続する内部観測体の観測する事象が確率1で生起するのは、内部観測体の予測する事象とそれの観測する事象とが、同義反復であることを言い表します。しかし、それは単なる言い換えではありません。極めて豊富な個別内容を含んでいます。

例をあげます。熱平衡から外れた系での化学反応を取り上げてみます。この化学反応系には多種の反応分子が含まれているものとします。今、A という分子がその周囲からの多種多様な化学親和力を被験して他の分子に変換されるとき、実現される変換分子は最も速やかに変換を受けるものです。それを B と称することにします。もちろん、A には B 以外に変換される可能性も当然あり得ながら、B への変換がいち早く実現してしまいますと、それ以外への実現の機会は消失してしまいます。ここでの基本は、物質由来の客観的な化学親和性が、ベイズの主観的確率に固有な尤度を担っていることです。

あらたに生じた B についても同様です。B という分子が周りからの親和力を受けて C に変換されるとき、それは以前と同様に最も速やかに変換されるものです。この最速変換の連鎖を介して辿り着いた分子 Z がさらに最速変換を受けて、再び A に戻るとしたならば、ここで反応回路が完成します。ここに出現した反応回路は分子変換を繰り返しながら自己同一性を維持し、経験し続ける内部観測体になります。しかも、回路内の隣接する個々の変換過程は最速過程であることを確率1でもって実現することになります。

一般に熱擾乱を受ける化学反応系において、確率1に志向する自己同一性を伴った運動体が現れるのは、その見掛けに拘わらず、決して奇妙なことではありません。偶然が支配している熱擾乱にあつても、その偶然を速度現象として捉え、結果の絞り込みを分子種の変換に持ち込むことができるならば、変換分子の内部観測があらたな分子変換をもたらす、との連鎖がそこから生じてきます。内部観測体の存続が途中で途切れることはありません。もし、この見解が妥当であるとするならば、実験によって確認することが求められます。

3 内部観測体としての反応回路: 実験例

化学進化の実験例として多種類のカルボン酸から成る、クエン酸回路の実現を取り上げてみます。クエン酸回路はミトコンドリアの内部で作動する、生物にとっての最も基本的な代謝回路の一つであつて、解糖系の中間産物であるピルビン酸をさらに二酸化炭素と水分子に分解することによって、ATP の産生を行います。回路そのものは、オキサロ酢酸→クエン酸→イソクエン酸→ α -ケトグルタル酸→コハク酸→フマル酸→リンゴ酸→オキサロ酢酸の経路を経てカルボン酸の変換が循環して行きます。ピルビン酸から分解された、2個の炭素原子を含むアセチル基がオキサロ酢酸→クエン酸の中間に外からの資源として回路に注入され、それに従い、二酸化炭素が1分子ずつ、 α -ケトグルタル酸、コハク酸が生成されるときに回路の外に放出されます。

ここで、生物が出現する以前の原始地球上での海底熱水口

近傍の熱・冷水循環を模倣したフロー・リアクター中に、上記8種類のカルボン酸のみを含んだ、生物由来の酵素を一切含まない、反応溶液を入れてみます。確かにクエン酸回路の運転が確認されました(Matsuno 2012)。回路運転の確認となる観測事実には次の5点が含まれます: 1) クエン酸回路は酸化反応のため、その溶液は還元され、溶液の pH は反応の進行と共に上昇; 2) 資源ピルビン酸を欠いたときには回路の循環は停止、pH の上昇、二酸化炭素の放出のいずれも認められず; 3) α -ケトグルタル酸のみを欠いた溶液を循環させたところ、リアクター運転とともに欠損していた α -ケトグルタル酸の緩やかな出現を確認; 4) 酸化剤である鉄第二イオンを添加したところ、酸化を伴う運転を一層加速することを確認; 5) 回路の部分系である α -ケトグルタル酸、コハク酸、フマル酸のみを含む溶液を循環させたところフマル酸の下流に位置するリンゴ酸の生成を確認、ただし、コハク酸、フマル酸のみの、あるいはフマル酸のみの溶液ではリンゴ酸の生成は確認されず。

4 主観的確率、QB イズム、集団知能

生物界を担う分子進化がそうであるように、持続する確率運動が可能であるときには、その持続を担う基体の保全が必然となります。それが、確率1で生起する内部観測体です。その確率はあくまでも内部観測体に固有であることにおいて主観的でありながら、決して擬人的な主観に限定されてはいません。経験の場で出現する内部観測体は、いかなるものであれ、それはベイズの主観であつて、局所的ながら確率1を経験して行きます。

この確率が局所的であることをまともに受け入れているのが、量子力学における QB イズム、すなわち Quantum Bayesianism です。量子力学を担う確率がそこでの内部観測体によってさらに下支えされているとの事態は、量子力学そのものに、経験により密着した解釈を提供します。量子非局所性(例; EPR 非局所性)を理論的に想定することは可能でありながら、経験そのものは非局所性を保証していない、とするのがそれです。QB イズムの利点は、量子力学を量子非局所性という形而上由来の制約から解放するところにあります。その積極的な意義は、確率そのものが担うことになる統整原理の発動を、経験それ自体の成り立ちの内に求めるところにあります。局所的でありながら、確率1を担うものに一体なにがあるのか、という問いを發することを、QB イズムは可能といたします。

確率に固有な統整原理を経験の場で發揮する、すなわち確率1を経験する具体事例は、化学進化における反応回路に限られてはいません。鳥の群れが示す、集団知能にもそれが認められます。個々の鳥は、それぞれ周りの僅かな数の鳥の動きを感知して飛行しながら、群れ全体は極めて統整のとれた動きを示します。これは、全体事象とそれを構成する個別事象が、ともにそれぞれの生起確率を1に漸近させることにおいて共通しているからです。この生起確率1の共通、共有が全体統整をもたらします。

偶然に左右されることが避けられない個別の探索運動を全体の運動に整合、統合させる一つの方策は、個別の運動そのものが絶えず最速変換を伴っているときです。

参考文献

- de Finetti, B., (1937). "Foresight: Its logical laws, subjective sources" *Ann. Inst. Henri Poincare* **7**, 1-68. Also; In: Kyburg, H.E. & Smokler, H.E. (eds) (1964) *Studies in Subjective Probability*, New York, Wiley, pp. 93-158.
- Matsuno, K., (2012). "Chemical evolution as a concrete scheme for naturalizing the relative-state of quantum mechanics" *BioSystems* **109**, 159-168.