

連載講座

サイバネティックスと教育学

(第3回)

長谷川 淳

二、サイバネティックスの基礎的な概念と法則(続)

5 不確定の程度

ある試行の結果が不確定、不明確であればある程、それを前もって予言することはむづかしく、その結果がわかったとき、それだけ多くの情報を得たことになる。この不確定の程度は、また、情報の自由度、不透明度であり、よい結果が期待される場合には、期待度と言ってもよい(前回の終りのところで、確率と関連して不確実さという言葉を使ったが、適切な表現ではないと思いますので訂正します)。情報の量を計算し、そのために不確定の程度を量的に表現することが必要であり、今回においては、最少限度の初歩的な数式を使うことにした。

さいころによる実験をくり返そう。さいころを投げる際の可能な結果の数は6である。では、二つのさいころを投げた場合の数はどうか。この場合、どれだけの組合せが可能であるか。第1のさいころのおのの目に対して第2のさいころの6つの目のうちどれか

が出るができる。第1のさいころの1の目に対して第2のさいころの6つの目が出るができる。したがって二つのさいころを投げた場合の可能な組合せの数は $6 \times 6 = 36$ であり、一つのさいころを2回つづけて投げた場合の数も同じである。

第1のさいころの、ある目が出る不確定度は6であり、第2の場合も6である。2つのさいころを投げた場合の不確定度は $6 + 6 = 12$ ではなく $6 \times 6 = 36$ であり、可能な結果の数は、試行の不確定度の量的表現と考えることはできない。この不確定の程度を表わす大きさを k で表わすとすると、この k は、前回の最後に述べた条件、すなわち、

- ① その大きさは、可能な場合の数の増大とともに増加する。
- ② いくつかの試行の不確定度をあらわす大きさは、それらの各

第1の条件をみたしても第2の条件をみたさな k は二つの条件を満足することはできないが、 k の対数は二つを同時に満足する。積の対数は、各因数の対数の和に等しいからである。二つのさい

つ状態が、もっとも確らしくない状態である。物理学的エントロピーも、同様に確率によって表現することができ、上の式とよく似た式で示される。

物理学におけるエントロピーとサイバネティクスにおけるエントロピーとは、用語や式のアナロジーだけではなく、現象においても類似している。物理的系は、何らの外部からの変化を加えない限り、無秩序が増大し、エントロピーが増大する方向に変化する。このエントロピー増大の代表的な法則は、熱力学の第二法則である。熱の移動の方向は、何らの変化を加えない限り、高温の物体から低温の物体へ向かうという法則である。この物理学におけるエントロピー増大の法則は、一つの経験的な法則であるが、力学の法則や状態の遷移確率の性質から導かれる。

サイバネティクスにおいて、等しく確からしい事象があり正確に予報することがもつとも困難な場合に、エントロピーは最大である。Sから確定的な予言ができるような、異なった確率をもつ事象の場合、エントロピーは小さくなる。たとえば釣合SのとれたきSを投げる場合の不確定度、すなわちエントロピーは $\log 6 = 0.782$ である。もし、Sとsの各面にかたよがりがあり、その結果たとえば、1の目が出る確率が1/2、2の目、3の目、4の目、5の目が出る確率がそれぞれ1/6、6の目が出る確率が1/18とするなら $\frac{1}{2} + \frac{1}{6} + \frac{1}{6} + \frac{1}{6} + \frac{1}{6} + \frac{1}{18} = 1$

$$H = -\frac{1}{2} \cdot \log\left(\frac{1}{2}\right) - 4 \cdot \frac{1}{6} \cdot \log\left(\frac{1}{6}\right) - \frac{1}{18} \cdot \log\left(\frac{1}{18}\right) = 0.6442$$

となり、エントロピーは減少する。

6 実 例

交通信号機の、赤と緑がそれぞれ一分間、黄が1/2分間であるとす。この信号からどれだけの情報をうけとるか。この問題を解くために、最初のエントロピーH₁と、信号がついた後にうけとるエントロピーH₂との差を計算しなければならぬ。この差が、情報量の指標になる。

どれかの信号が一つつきたとき、すべての不確定度がなくなる。赤は停止、緑は通行、黄は準備を示す。すなわち、H₂=0、I=H₁である。最初のエントロピーはどれだけか。三つの信号のどれかがつく確率は、全体で1であり、赤と緑の時間のは黄の2倍である。したがって、それぞれの信号の出る確率は、

赤: $p_r = 0.4$, 緑: $p_g = 0.4$, 黄: $p_y = 0.2$

$$I = H_1 = -p_r \log p_r - p_g \log p_g - p_y \log p_y$$

$$= -0.4 \log 0.4 - 0.4 \log 0.4 - 0.2 \log 0.2$$

$$= 0.4582$$

もし何らかの原因によって、二つ、たとえば赤と黄がついたとすると、この場合に不確定度は消えない。すなわちH₂は0にならない。緑がでなS限りH₂は0である。赤と黄の確率は、赤は黄より2倍長くひるから、

$$p_r = \frac{2}{3} = 0.67, p_y = \frac{1}{3} = 0.33 \quad \text{したがって}$$

$$H_2 = -0.67 \log 0.67 - 0.33 \log 0.33 = 0.1764$$

$$I = H_1 - H_2 = 0.4582 - 0.1764 = 0.2818$$

となる。

もし一つの目が出る確率が1で他の目が出る確率がすべて0であるとすれば、すなわち必ずある一つの目がでて他の目が絶対にでないとするならば、

$$H = 1 \log 1 - 0 \cdot \log 0 - 0 \cdot \log 0 \dots = 0$$

となり、不確定度は0で、予言は絶対的に正確にできる。事象あるいは試行の結果の不確定の程度を地的に表現することは、情報量の概念を定義するための基礎になる。人間は情報を受けとることによって新しい知識を獲得する。不確定の程度すなわちエントロピーが大きいほど知識の量は少ない。したがってサイバネティクスにおけるエントロピーは、減少する方向に向かう。

情報をうけとるまでにわれわれがもっていたエントロピーをH₁で表わし、情報をうけとった後にエントロピーはH₂に減少したとする。この場合うけとった情報量は、第一と第二のエントロピーの差に等しS。すなわち、

$$I = H_1 - H_2$$

もし情報をのこらずうけとった結果、あらゆる不確定度、不明確さが除かれたとするならば、すなわち、H₂=0ならば、そのとき、

$$I = H_1$$

この場合、情報量は、情報をうけとるまでもついていたエントロピーに等しS。

不確定度が減少すればするほど、うけとった情報は大きS。情報と最初のエントロピーとの量の等式 ($I = H_1$) は、この二つの概念の同一を意味するものではない。情報は、単なるエントロピーに等しSではなく、減少するエントロピーに等しSのである。

ギリシャ神話のアテナイの英雄テセウスは、危険な旅に出かけ、出発の際に父アイゲウスに、無事に帰った場合には船の黒い帆を白い帆にかけて帰ってくることを約束した。この場合、帆はどれだけの情報を伝えるか。

黒と白の帆のあがる確率は等しSとすると、

$$p_b = p_w = 0.5$$

どれかの帆がすでにあげられたとき、第2の帆の確率は0で、H₂は0である。

$$H_1 = -\frac{1}{2} \log \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \log \frac{1}{2} = -\log \frac{1}{2} = \log 2 = 0.301$$

$$I = H_1 = 0.301$$

もし船上に同時に二つの帆があげられていたら、その場合、不確定な情報しか得られぬS。したがって、

$$H_2 = H_1, I = H_1 - H_2 = 0$$

信号の赤と黄が同時に出現した場合、一つもつかなくった場合よりも不確定度はかなり小さS。この場合は、進行をつづけるよりも、停止しなければならぬ確率が大きSからである。二つの帆が同時にあげられた場合は、信号をうけとった後も完全に不確定度を残し、伝えられる情報は0である。

交通信号の場合も、テセウスの帆の場合も、信号の内容そのものの、運動を止めるか、テセウスが無事に帰ったか否かは、情報理論にとって重要ではない。これは情報の量に何らの影響をもたない。サイバネティクスは、当該の客観的な、形式的な、一定の符号の相互関係を算定するものである。テセウス (14ページ) について

要があることは、証言の全体から見て明かである。』報告はつづいてのべている。児童労働の無制限な搾取の制度は『幼くて、傷つき易い子どもにたいいての親たちが自分かつてな無法な権力を何の拘束も制御もなくふるうことによつて維持される。…親たちは、彼らの子どもを幾らかの週賃金をたき出すためのただの機械にしてしまふ絶対権をもつてはならない。…子どもや少年には、早くから彼らの肉体力を損傷し彼らの道德的知的存在としての程度を低下させる親権の乱用にたいして、立法の保護を求める権利がある。』支配階級をして無理に、一定の立法による保護をうけるべき子どもの権利を宣言させたものは、無制限な児童搾取による墮落し粗野になつた犠牲者を、満腹したブルジョア階級が恐れたためであるけれども、同時にブルジョアジーはその恐るべき状態についての責を自ら引きうけたのではなく、プロレタリアの両親に転嫁し、ますます「奴隷訓練」として働く公共の保護教育を創立したのである。

カール・マルクスはイギリスの児童労働調査委員会の報告を、即次に次の言葉をもつて正してゐる。

『』とは、親権の乱用が、資本による未熟な労働力の直接間接の搾取をつくりだしたのではなく、むしろ逆に、資本主義的搾取様式が、親権に対応する経済的基礎を廃棄することによつて、その乱用にいたらしめたのである。』

資本主義諸国の児童保護法は、無政府的な無制限な児童労働の濫費のかわりに、法的に承認された搾取の規制され、文明化された形態をもつてするものにはかならない。ブルジョアジーの人道主義は、しよせん、搾ろうとする牝牛は殺してならぬ、という命題につ

きるのである。資本主義は決して婦人や子どもの搾取をあきらめたりしない。「秩序ある家族関係」にたいする資本主義の関心は、それがプロレタリアートにたいするものであると、家族は安価で従順な労働力の無尽蔵の生産場であるとすると分別に本質的に処つてゐる。

(五十嵐頌訳)

(137ページから)が黒い帆を白にかえることを忘れ、父アイゲウスが悲痛のあまり岩頭から海に身を投じた。アイゲウスにとつては、黒と白との帆のもたらす情報には、非常な違いがあつたが、サイバネティックスの情報理論にとつては、本質的な問題ではない。

サイバネティックスは、情報の数量的尺度を算定して、情報の伝達と保存に関連した多くの法則を確立した。サイバネティックスはそれにもとづいて、通信系路に沿つて伝達できる情報の量と、それをもつとも経済的に伝達する方法を解明した。

交通信号の場合でも、電報の場合でも、信号は一定の情報をもたらす、しかし、信号は、その伝達の径路において、偶然の影響をうけて、その結果確実さ明瞭さが妨げられることがある。このような乱れや妨害は、通信内容の不明確さや誤解をまねく。誤りは、必然に、情報の減少に、エントロピーの増大に、混沌に、不明確さに導く。

何らかの偶然の作用の影響のもとでおこるこの情報の損失とエントロピーの増大の現象は、上述の物理学における熱力学の第二法則におけるエントロピーの増大と似ている。

(東京工業大学助教授)