

エントロピーと時間

——時空とリズムに関する論考（三）——

橋 元 淳 一 郎

現代物理学の基礎は相対論と量子論であるが、どちらの理論にも時間の流れを示す法則はない。相対論は、時間を空間と同一視するという意味で、時間の流れを否定する。また、量子論は常識的な因果関係を否定するという意味において、時間の流れを否定する。

それでは、物理法則の中に時間の流れを示唆する法則はないのかといえば、唯ひとつ熱力学におけるエントロピー増大の法則というものがある。

エントロピーの定義をここで詳しく述べる紙幅はないが、エントロピー増大の法則は、我々の日常生活の常識と密接に結びついている。この法則を一言で表した格言は、「覆水盆に返らず」である。コップの水をこぼすことは容易であるが、こぼれた水をコップに戻すことは、ほとんど

不可能である。熱力学の言葉でこれを不可逆過程と呼ぶが、不可逆過程が存在することと、孤立した系のエントロピーは必ず増大する（正確には、減少することは決してない）、ということとは、ほとんど同義である。

エントロピーをあえて日常の言葉で言うなら、乱雑さと言ってよいだろう。

「私の書斎は、いくら整理しても時間が立つと必ず乱雑になる」という思いを抱いている人は、それを自分のだらしなさだと嘆く必要はない。なぜなら、それはあなたのせいではなく、自然法則なのである。

いま、図1のように一つの箱を真ん中で区切り、左側に赤い玉を十個入れ、右側に白い玉を十個入れる。それから区切りを取り払い、箱を適当に揺さぶる。そうすると、箱

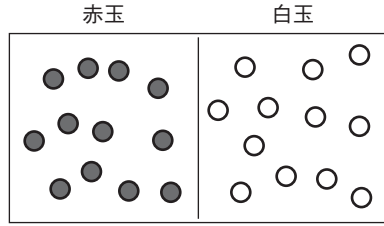


図 1

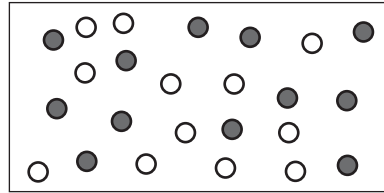


図 2

の中は図2のように、赤と白の玉が入り混じった状態になるだろう。

図1から図2への変化は、ごく自然に起こる。それは、はじめ図2のように赤、白を入り混ぜた状態に置き、それから箱を適当に揺さぶると図1のような赤、白がはっきり分かれた状態になるようなことがあるだろうか。

玉の数が二個とか三個の場合には、そのようなことが起こることもあり得る。しかし、玉の数が十個以上、何百個、何万個となってくれば、もはや図2から図1への自然

な変化はあり得ない。

これが不可逆過程である。図1の状態は秩序があり、言い換えるとエントロピーが小さい状態である。図2の状態は乱雑であり、言い換えればエントロピーが大きい状態である。

なぜエントロピーは増大するのか、これをこのような思想実験で考えれば、確率の問題であることが納得出来るであろう。

こうして、エントロピーの増大は、時間が過去から未来へ流れることを示す唯一の物理法則になる訳である。

さて、ここまでは、科学の解説本によく書かれる事実である。

しかし、果たして物理的時間は、過去から未来へ流れているのであろうか。

赤白の玉の思想実験は、相対論や量子論の世界ではなく、ニュートン力学の世界であるが、これもまた過去から未来への時間の流れを否定する。というのもニュートン力学の土台である運動方程式は時間対称であって、どちらが過去でどちらが未来かを区別しない。それゆえ、図2の状態で一個一個の玉の速度の向きをすべて逆向きにすると、

その後の玉の運動は時間を逆転したのと同じことになり、玉の配置はやがて図1の状態に戻るからである。

そうすると、エントロピー増大の法則とニュートンの運動方程式は相容れない矛盾した法則なのであろうか。

この謎をもう少し立ち入って考えてみると、我々は時間の矢に対して、二つの謎を持っていることが分かる。

一つは誰もが知っている謎で、それは時間はなぜ過去から未来へしか流れないのかというものである。それは、エントロピーはなぜ増大し減少することはないのかということと、ほぼ同義である。

この謎に対して筆者は、時間の流れは物理的世界の中になく、生命が創り出すものであるという考えを抱いているが、それについてはまた稿を改めて論ずることとし、ここでは、もう一つのあまり気づかれない謎について言及したい。

ふたたび赤玉、白玉の思考実験を考える。いま、図1から図2への変化を合わせて図3のaとbとする。このときa→bの変化はありうるが、b→aの変化はなぜないか、というのが第一の謎である。しかし、ニュートン力学が正しいとすれば、b→aの変化はないわけではない。こ

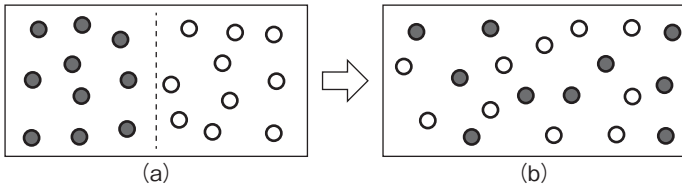


図3

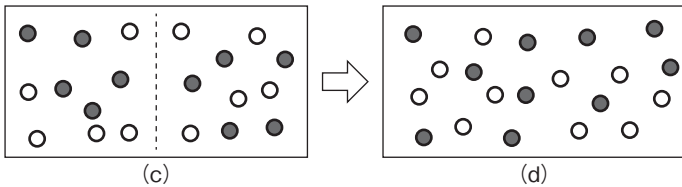


図4

こで強調したいことは、aとbは違う物理系ではなく、同じ物理系のある時刻 $t \parallel a$ と $t \parallel b$ のそれぞれの状態であ

るということである。

これに対して、図4のcからdへの変化を考える。図cは乱雑な状態であり、図dも乱雑な状態である。これは図cで系のエントロピーはすでに最大になっていて、もはやこれ以上、エントロピーは増えず、図dまで最大のままという系である。

ある時刻に二つの系を観測したとき、図bと図dを見たとする。図bと図dのエントロピーはどちらも大きく、両者はきわめて乱雑な状態である。それゆえ、我々はマクロな見地から、図bと図dは同等であるとみなす。

しかし両者は、本当は同等ではないのである。

図dは時間を遡つても、系のエントロピーが最大のままである。ところが図bは時間を遡ると、図aの状態となり、エントロピーがきわめて小さい世界が出現する。

つまり図4の系は乱雑なありふれた状態であるが、図3は一見、ありふれた系に見えて、非常に特殊な系である。

図aは特別な状態であるが、じつはそれに対応する図bも特別な状態なのである。

図3のような系はどのようにして存在しうるのであろうか。

これが二番目の謎である。図bは一見、ありふれた系であるが、図aと結びつくことによつて、きわめて特殊な系であることが分かる。そもそも図aのような状態はいかにして誕生しうるのか。

もちろん、この思考実験を我々が奇妙に思わないのは、図aの状態は自然に生じたものではなく、人間がそのように準備したということを暗黙のうちに了解しているからである。しかし、それで問題は解決しない。そのような準備の出来る人間——きわめてエントロピーの小さな存在——が、いかにして存在しうるのかという謎に行き着くのである。

これは物理学者ロジャー・ペンローズも言及していることであるが、エントロピー増大の法則に関する最大の謎は、宇宙のはじめには、なぜかくもエントロピーが低かつたのかという謎なのである。