相対論の直観的認識について

橋　元　淳一郎

人が世界を理解するというとき、そこには何かしらの直観が伴っている。例えば時間という概念には意識するとしないに拘わらず、心臓の鼓動、すなわちリズムが潜んでいる。いかなる数学的概念、物理的概念の中にも人間の直観が宿っている。ケプラーやニュートンの物理学は、同時代の大多数の人々には理解不可能な経文のようなものであったかも知れないが、今となっては明快な直観的意味付けが可能である。それを敷衍すれば、難解な現代数学や現代物理学と雖も、必ずや万人に理解可能な直観的意味があるのである。1905 年に発表されたアインシュタインの特殊相対性理論は、その後 100 年間の物理学革命の一つの引き金であったが、その数学的構造は当初思われたほど難解なものではなかった。相対論の難解さはむしろ時間と空間の常識的認識を覆すパラダイムの転換にある。その壁を乗り越えれば、我々は時間と空間についての驚くべき真理に肉薄できるはずなのである。

「りずむ」創刊号で、相対論的時空について少し触れた。本稿ではそれをもう一歩、具体的に説明してみたいと思う。時間と空間の探求は、文系理系を問わず、純粋な思索に安寧と悦び見出す人々の共通の関心事と信じるからである。

特殊相対性理論は、真空中の光速が誰からみても不変であるというただ一つの事実から出発する。この事実は、我々が存在している時間と空間という器に特別の関係を強いてくる。煩瑣な数式展開は省略するが、その関係とは単純明快であって、次に示すような量、$\mathrm{d}s^2$ を不変にするというものである。

$$\mathrm{d}s^2 = \mathrm{d}t^2 - \mathrm{d}x^2 - \mathrm{d}y^2 - \mathrm{d}z^2 \quad \cdots\cdots \ (*)$$

この式の直観的意味は、中学の数学で学んだ幾何学（ユークリッド幾何学）を思い浮かべれば明らかとなる。

（2）

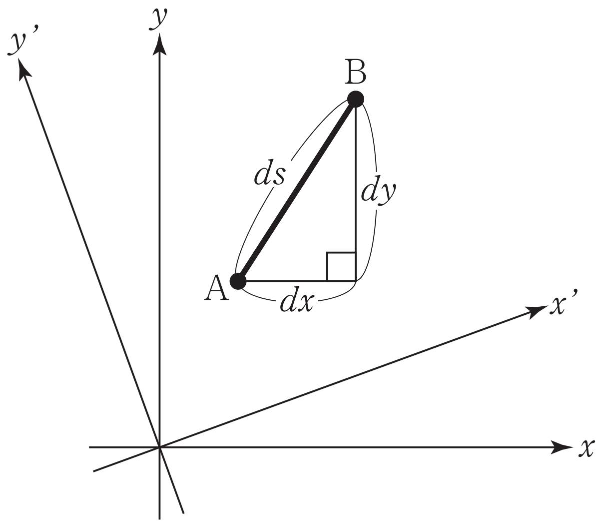

図 1

図 1 のように平面上に長さ ds の線分 AB があるとする。いま、この平面上の点を指定するために 2 つの直交座標系（$x-y$ 座標系と $x'-y'$ 座標系）を選ぶ。線分の始点 A と終点 B の位置は、それぞれの座標系で指定できるが、座標系が異なるのだからその値はもちろん違ったものになる。しかしいかなる座標系を選ぼうとも、線分 AB の長さ ds は変わらないはずである。そこで、ピタゴラスの定理によって、

$$\mathrm{d}s^2 = \mathrm{d}x^2 + \mathrm{d}y^2 = \mathrm{d}x'^2 + \mathrm{d}y'^2$$

が成立する。すなわち線分 AB の長さ ds は座標系の選び方によらない不変量である。

さて、特殊相対論における不変量の式（*）を、上のユークリッド幾何学の式と対応させるためには、dx、dy、dz という空間的長さを虚数にすればよいことが分かる。つまり相対論的時空（これをミンコフスキー空間という）では、時間軸が実数、空間軸が虚数なのである。以上は単なる数式上の操作である。それゆえ、相対論のテキストのほとんどは式（*）の代わりに、

$$\mathrm{d}s^2 = -\mathrm{d}t^2 + \mathrm{d}x^2 + \mathrm{d}y^2 + \mathrm{d}z^2 \quad \cdots\cdots \text{（**）}$$

を不変量として扱っている。じっさい、どちらの式を使っても導かれる結

論は同じなので、理論的には式（*）と式（**）は同等なのである。

しかし直観的には、「時間は実数、空間は虚数」という概念と「時間は虚数、空間は実数」という概念は、明らかに異なっている。相対論的時空では、図 2 のように、現在の「私」が決して因果関係を持てない非因果領域と呼ばれる領域が空間方向に拡がっている。

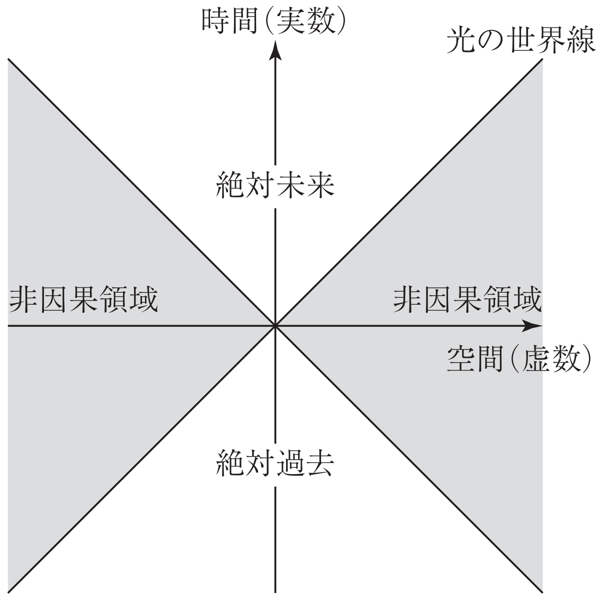

図 2

つまり我々は決して「純粋な空間」というものを認識できない。我々が空間として見ている現実の空間は、時間という衣を纏った疑似空間なのである。我々は自分の存在を時間経過という内観によって認識する。それは時間が実数であり、辿れるものだからである。一方、我々は時間経過を伴わずして決して空間を辿ることは出来ない。それは空間が虚数だからである。

以上に述べた事柄は、きわめて単純明快な直観的事実である。それにも拘わらず、相対論のテキストを書く物理学者のほとんどは疑いもせず空間を実数、時間を虚数として話を進める。これは、多くの物理学者がいかに時間と空間の哲学的探求を疎かにしているかの証左ではなかろうか。