

# 相対性理論と量子力学の時間概念の相異と『中論』からの考察

——宇宙は4次元時空か3次元空間か——

青 木 宏

## 1. はじめに

2011年9月に国際研究チーム「OPERA」が光速より速いニュートリノが観測されたと報告し、「超光速粒子」の発見として論争になった。しかし、残念ながら、実験に不備があったとされ、再実験が行われ「超光速粒子」の発見という当初の報告は撤回された。

このときの主な議論は、アインシュタインの特殊相対性理論では、質量を持つ粒子の速さは光速を超えないとされていたが、この理論に反する粒子が存在するのかというものであったと思う。

しかし、この最初の報告があったときに、筆者はこれとは異なった解釈があり得ると考えていた。「OPERA」チームの当初の報告は、光速 $c$ とされる $2.99792458 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  (理科年表)の速さを超えたニュートリノが発見されたというものであった。しかし、これは必ずしも「超光速粒子」の発見ということを意味しないと考えた。

アインシュタインの相対性理論の基底には、光の速さをあらゆる慣性系で測定すると常に同じ値の速さが得られるという「光速不変の原理」がある。「原理」とは、実験的には証明されていないが正しいと信じられることをいう。この「光速不変の原理」に基づく、あらゆる慣性系で測定される常に同じ値の光の速さは光速 $c=2.99792458 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ とされている。

今回の「OPERA」チームの当初の報告は、この光速 $c$ の値を超えた速さ

(204)

のニュートリノが観測されたというものであった。この報告は、このニュートリノが光よりも速いということを示しているのではなく、「光速度不変の原理」が破れていることを示していると筆者は考えた。すなわち、「超光速粒子」の発見ではなく、この慣性系での光の速さが光速  $c=2.99792458 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  が超えており、あらゆる慣性系で光の速さが同じ値であるという「光速度不変の原理」の破れを示しているのではないかと考えた。

今回の「OPERA」チームの当初の報告は撤回されたが、「光速度不変の原理」は本当に正しいのかという疑問は残った。

## 2. 4次元時空

アインシュタインの特殊相対性理論の基底には、相対性原理と光速度不変の原理があり、それは重力理論である一般相対性理論にも引き継がれている。そして、現代主流の宇宙論は、このアインシュタインの一般相対性理論と宇宙膨張の信念に支えられている。

この特殊相対性理論では、光速度不変の原理に基づき2つの異なる慣性系の間の座標変換であるローレンツ変換が導かれる<sup>1)</sup>。一つの慣性系  $K'$  がもう一つの慣性系  $K$  から  $x$  軸上を速さ  $v$  で遠ざかっている場合のローレンツ変換の式 (1) を以下に示す。

$$(1) \quad \begin{cases} x' = \gamma(x - vt) \\ y' = y \\ z' = z \\ t' = \gamma\left(t - \frac{v}{c^2}x\right) \end{cases}$$

ただし、 $\beta = \frac{v}{c}$ 、 $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}}$  である。

このローレンツ変換の式 (1) は、慣性系  $K'$  の空間座標  $x'$  が慣性系  $K$  の空間座標  $x$  と時間座標  $t$  によって決定され、慣性系  $K'$  の時間座標  $t'$  も慣性系  $K$  の空間

---

1) A. Einstein : *Annalen der Physik*, 4. Folge, Bd. 17, (1905) 891.

座標  $x$  と時間座標  $t$  によって決定され、空間座標と時間座標が混ざる結果になっている。この結果によると、我々の宇宙は空間座標と時間座標が混ざった 4 次元時空であるということになる。

### 3. 3次元空間

一方、現代物理学においてアインシュタインの相対性理論と並ぶ基礎理論として量子力学がある。この理論は素粒子論の標準模型理論の基底にある。

この量子力学の方程式はおおざっぱに言って、

$$\hat{H}(q, \hat{p})\psi(q, t) = \hat{E}\psi(q, t)$$

と書ける。ただし、 $q$  は空間座標、 $\hat{p}$  は空間座標  $q$  での微分を含む運動量演算子であり、 $\hat{E}$  は時間座標  $t$  での微分を含むエネルギー演算子である。この方程式は左辺は空間座標、右辺は時間座標の微分からなる変数分離形になっており、空間座標と時間座標は独立になり、空間座標と時間座標が混ざり合うことはない。ディラックの相対論的な量子力学の方程式も同様の形の方程式である。

したがって、量子力学では空間座標 3 次元と時間座標 1 次元は独立であり、3 次元空間座標は現実の物理的存在と結びついたものと考えられるが、時間座標は物理的存在に直接結びつかない単なるパラメータと考えることができる。

したがって、量子力学から導かれる我々の宇宙は基本的には 3 次元空間であると考えられる。単なるパラメータである時間座標を加えた 4 次元時間 - 空間であるとも考えることも可能であるが、この場合も空間座標と時間座標が混ざり合うことはなく独立な存在であり本質的には 3 次元空間であり、相対性理論から導かれる 4 次元時空とは本質的に異なるものと考えられる。このことは、次の節でも明らかになる。

### 4. 3次元か 4次元か

相対性理論から導かれる 4 次元時空と、量子力学から導かれる 3 次元空間（含む、単なるパラメータとしての時間座標を加えた 4 次元）の相異について、座標に関する、あらゆる系から見て不変な量を基にもう少し考察する。

(206)

3次元空間であらゆる系から見て不変な座標に関する不変量は、距離（原点からの距離）

$$(2) \quad x^2 + y^2 + z^2$$

である。

それに対し、4次元時空での同様の不変量は<sup>2)</sup>、

$$(3) \quad c^2 t^2 - x^2 - y^2 - z^2$$

である。この量は、4次元時空での距離（インタバル）である。

式(2)からわかるように、3次元空間での不変量には時間の座標  $t$  は入っていない。したがって、時間座標  $t$  は空間座標  $x, y, z$  に対し独立である。

それに対し、相対性理論での4次元時空の不変量の式(3)では、時間座標  $t$  と空間座標  $x, y, z$  は独立ではない。ここに3次元空間と4次元時空の重大な相異があると考ええる。

相対性理論での4次元時空の不変量の式(3)は、時間座標と空間座標が独立ではない、すなわち時間座標と空間座標の依存関係を示しており時間座標と空間座標が混じり合うことを示している。したがって、空間座標が現実の物理的存在と結びつていれば、時間座標も現実の物理的存在と結びついた量と考えられる。すなわち、時間座標は空間座標と同様に物理的に存在すると考えられる。時間座標が物理的に存在するとは、どういうことだろうか。それは、時間軸を過去に下った過去の4次元時空も、時間軸を未来に上った未来の4次元時空も物理的に存在すると考えられることになる。過去の4次元時空も未来の4次元時空も物理的に存在すれば、タイムトラベルも実現可能となる。この結論にいたる出発点は光速不変の原理にあるのである。

量子力学で成立する、3次元空間での不変量の(2)式では、時間座標と空間座標は独立であり、空間座標が物理的に存在するとしても、時間座標は物理的に存在する必要はない。したがって、過去の3次元空間も、未来の3次元空間も物理的に存在する必要はない。

---

2) H. Minkowski, *Jahresbericht der Deutschen Mathematiker-Vereinigung*, 18 (1908) 75.

今のところ、過去の4次元時空も未来の4次元時空も存在するとの証拠はない。

以上みてきた通り、相対性理論と量子力学の間には、時間に対する考え方には大きな相異がある。

次の節では、この時間について竜樹の『中論』<sup>3)</sup>の観去来品第二の記述に基づき考えたい。

## 5. 中論から考える時間の概念

ここでは、「中論」の観去来品第二の文に沿って時間について考えてみる。

「已去無有去 未去亦無去 離已去未去 去時亦無去」<sup>4)</sup>

「已去は去有ること無し 未去も亦た去無し 已去と未去を離れて 去時も亦た去無し」<sup>5)</sup>

「すでに去ったもの(已去)は去らない。つぎに、まだ去らないもの(未去)も去らない。すでに去ったものとまだ去らないものを離れて、現に去りつつあるもの(去時)は去らない。」<sup>6)</sup>

已去と未去と去時を三時といい、現代語の過去、未来、現在にあたると考えられ、時の流れについての記述と考えられる。ここで、「已去と未去を離れて 去時も亦た去無し」の文は、物理的に考えると、時の流れの中で過去(已去)、現在(去時)、未来(未去)という方向を持ったベクトルのようなものが現在(去時)だと筆者は考える。

次に、

---

3) 三枝充恵：レグルス文庫「中論」第三文明社

4) 同上、p117

5) 同上、p116

6) 同上、p117

「云何於去時 而當有去法」<sup>7)</sup>

「現に去りつつあるもの（去時）に、実に、どうして、去るはたらき（去法）が成り立ち得るであろうか。」<sup>8)</sup>

「若言去者去 云何有此義」<sup>9)</sup>

「『まず第一に、去る主体は去る』ということは、実に、どうして、成り立ち得るのであろうか。」<sup>10)</sup>

この二つの文は、現に去りつつあるもの（去時）に、去る働きがあるわけでもなく、去る主体があるわけでもないとの主張である。先の過去現在未来という方向を持った現在というベクトルは、ある静的な主体が去るわけでもなく、過去現在未来と流れる方向性を持ったダイナミズムそのものであると筆者は考える。

また次に、

「已去中無發 未去中無發 去時中無發 何處當有發」<sup>11)</sup>

「すでに去ったもの（已去）においては、去るということは始められない。まだ去らないもの（未去）においては、去ることは始められない。現に去りつつあるもの（去時）においては、去るということは始められない。どのようなものに、去るということが始められるであろうか。」<sup>12)</sup>

---

7) 同上、p119

8) 同上、p121

9) 同上、p127

10) 同上、p127

11) 同上、p133

12) 同上、p133

この文は、方向性を持ったベクトルのダイナミズム自体が現在であり、去る働きがあるわけでもなく、去る主体もあるわけではなく、したがって、現在のダイナミズムは始まったわけでもない。すなわち時の流れに始まりはないとの主張と筆者は考える。

そして、

「是故去去者 所去処皆無」<sup>13)</sup>

「それゆえ、去ること（去）と、また去る主体（去者）と、また去られるべきところ（所去処）とは、存在しないのである。」<sup>14)</sup>

この文は、『中論』の観去来品第二の最後の文であり、去ること（去る働き）も去る主体も去るべき場所も無いと主張されている。現在とは、過去現在未来という方向性を持ったベクトルのダイナミズムである現在があるのであり、過去、現在、未来が存在するわけでもなく、そのダイナミズムの働きも主体もその場所もあるわけではないとの主張と筆者は考える。

以上の、『中論』の観去来品第二に基づいた時間の概念と、相対性理論と量子力学のそれとを、次に比較する。

## 6. 相対性理論および量子力学と『中論』との時間概念の比較

4節で、考察したように相対性理論では時間軸は、空間軸と混ざり合い4次元時空を形成し、空間と同様に時間も実在することになる。したがって、過去も現在も未来も実在することになり、『中論』の時間概念とは大きな隔たりがある。

また宇宙は無から始まったとするインフレーション・ビックバーン宇宙論を支えているのが一般相対性理論であることを考えると、この点でも時の始まり

13) 同上、p151

14) 同上、p153

(210)

がないとする『中論』の時間概念とは大きな隔たりがあると思える。

これに対し、量子力学では、時間と空間は独立であり、時間は物理的存在とは結びつかない単なるパラメータと考えることができ、時間が物理的に存在していると考えする必要はない。さらに、量子力学では「コペンハーゲン解釈」<sup>15)</sup>に見られるように、物理で言えることは、観測した時の現象の一断面についてだけであり、観測していないときの進行中の現象についてはその実体についても何も言えないとする考え方が基底にある。これは、時間の流れの主体も認めない、『中論』の時間概念と近いものがあると思える。

もちろん、『中論』の概念が宇宙の真実を判断する基準であるわけではないが、中論に述べられている考察には多くの真実があると筆者は考えている。

## 7. 今後の課題

以上のように、相対性理論と量子力学の時間概念には大きな隔たりがあり、相容れないものと思われる。とくに筆者が疑問に思うことは、相対性理論の時間概念に、過去と未来の实在を認める点と時間の始まりを認める点があることにある。さらに、この理論の出発点にある光速不変の原理にもある。

光速不変の原理は、アインシュタインも認めているように<sup>16)</sup>本来は仮説であり、実験的に検証される必要があるものである。

最後に、相対性理論と量子力学の時間概念の大きな相異は埋める必要がある。その方向性として、中論の考察を受け入れる筆者としては、相対性理論の時間概念を修正する方向を考える。そうすると、相対性理論の出発点である光速不変の原理にまでさかのぼる必要があると考えている。

(あおき ひろし・委嘱研究員)

---

15) 例えば『東洋哲学研究所紀要』第9号、1993年、215頁。

16) A. Einstein, *Annalen der Physik*, 4. Folge, Bd. 17, (1905) 891.



## The Consideration from the Difference of the Theory of Relativity and the Quantum-mechanical Time Concept and “中論”

~ Is our space four-dimensional space-time or three-dimensional space? ~

Hiroshi Aoki

It was disputed for discovery of “the super velocity of light particle” in September, 2011 by a report of international study team “OPERA”. About this report, I thought that I showed that “principle of constancy of light velocity” was destroyed. The original report of this “OPERA” team was withdrawn, but “the principle of constancy of light velocity” won through up to the doubt whether was really right. The base of the special theory of relativity has the theory of relativity and principle of constancy of light velocity. The Lorentz transformation which is coordinate transformation between two different inertial system is led based on principle of constancy of light velocity. It follows that a coordinate is mixed in this Lorentz transformation at coordinates in space and time. Therefore, our four dimensions of space becomes space-time. On the other hand, by the quantum-mechanical equation, a coordinate does not need to mix with coordinates in space at time. Therefore, it is thought that our three dimensions of space is space. Based on unchangeable quantity about the coordinate, I consider difference between the concept at the four-dimensional space-time time concept of the theory of relativity and time of the quantum-mechanical three-dimensional space. In addition, I try to think along the sentence of the second chapter “観去来品第二” of “中論” about time.

(212)

The concept is apart with a concept greatly in time for “中論” at the time of the theory of relativity.

I think the quantum mechanics to be have a concept and a near thing in time for “中論”.

Finally the big difference of the concept has to bury it at the theory of relativity and quantum-mechanical time. I think about a course to revise a concept as the directionality at the time of the theory of relativity. Then I think that it is necessary to sail it up in the principle of constancy of light velocity that is the starting point of the theory of relativity.