

# 相対論における光の波動・粒子性

佐藤正典 (Masanori SATO)

本多電子株式会社

## 1. はじめに

相対論の理解を困難にしている主原因は wave-particle duality である。例えば光行差は photon を particle として観測している。一方、Michelson-Morley の実験は干渉実験であり、明らかに photon の wave 面を観測している[1]。Wave-particle duality は量子力学と同様の議論を相対論で行う必要があることを示唆している。

Global Positioning System (GPS)は、カーナビなどに搭載され広く普及し、Ashby [2] による GPS と相対論の理論および実験に関する詳しい解説がある。GPS は、特殊および一般相対性理論の正しさを日々実験によって証明している。相対論は、すでに量子力学と同様に、工学の分野になっている。

しかし、相対論の解釈に関する疑問は残っている。これらは wave-particle duality が十分に議論されていないことに一因がある。この点が明確になれば、相対論の理解は格段に容易になる。本報告では、wave-particle duality の particle 面を考えることで静止慣性系が自然に導出可能であることを示す。

## 2. 静止慣性系

Michelson-Morley の干渉実験とは異なる方法で、静止慣性系に対する運動の検知方法を検討する。すなわち、photon の particle 面を利用した Doppler shift を使う。Doppler shift は干渉を用いないで直接波面を数えるので particle 面と考えられる。

ここで、従来の解釈では認められていない静止慣性系を考えてみる。静止慣性系が認められないのは不必要であるからという消極的理由で、静止慣性系があったからといって不都合が起きるわけではない。図1のように絶対速度 30 km/s の Light source S からロケット A を相対速度 4 km/s となるように飛ばし、A' を反対方向に相対速度 4 km/s になるように飛ばす。S から A を見た周波数を  $f_{S \rightarrow A}$ 、A から S を見た周波数を  $f_{A \rightarrow S}$  のように表すと  $f_{S \rightarrow A} = f_{A \rightarrow S}$  となる。同様に  $f_{S \rightarrow A'} = f_{A' \rightarrow S}$  となる。ここで、一般的に  $f_{S \rightarrow A} \neq f_{S \rightarrow A'}$  である。もし S が動いていれば、図1の幾何学的作図から類推されるように、 $f_{S \rightarrow A} < f_{S \rightarrow A'}$  である。すなわち A' のほうが、多くの波面が通り越

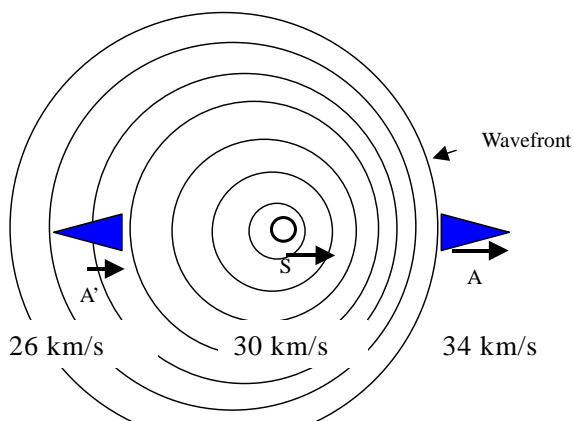


図1 Doppler shift による静止慣性系の  
見つけ方

している。図 1 の数値では、 $1.0 \times 10^{-7}$  程度の周波数差が計算される\*1。AとA'のペアをいろいろな方向に打ち出し  $f_{S \rightarrow A}$  と  $f_{S \rightarrow A'}$  の差が最も大きい方向にSは運動している。どちらの方向に2つのロケットを飛ばしても、 $f_{S \rightarrow A} = f_{S \rightarrow A'}$  ならばSは静止慣性系にいる。したがって、Sは自分が運動している方向に減速すればよい。この試行を繰り返すことで、Sを静止慣性系に持ってゆくことができる。

以上、Doppler shift を用いることにより、静止慣性系のなかでの運動を議論した。このとき、photon の particle 面を使うことで慣性系の運動を検知することができた。すでに述べたように、波面を数えることは photon の particle 面を使うことである。一方、Michelson-Morley の実験は photon の wave 面、すなわち干渉を使ったために地球の運動を検知できなかったのである。

### 3. まとめ

相対論における wave-particle duality の重要性を指摘した。量子論では、熱心に議論されたが、相対論では皆無である。同時に静止慣性系を求める方法を提示した。相対論の解釈にこれらを取り入れることで理解はごく容易になる。

\*1) 静止慣性系に対して相対運動する2つの慣性系間のDoppler shift表示式は(1)式によって求められる[3]。  $f_{S \rightarrow A} = f_{A \rightarrow S}$  であり、S、Aから見てお互いに対等に見えるが、絶対速度  $v_S$ 、 $v_A$  に依存し、相対速度  $v = |v_S - v_A|$  に依存することはない。どちらか片方が静止していると、お互いの相対速度に依存する従来のDoppler shift表示式に一致する。ここで  $c$  は光速であり、図1の数値を代入して計算すると、

$$f_{S \rightarrow A} = f_0 \sqrt{\frac{1 - \frac{v_A}{c}}{1 - \frac{v_S}{c}} \times \frac{1 + \frac{v_S}{c}}{1 + \frac{v_A}{c}}} = 1.0001130 \times f_0 \quad (1)$$

$f_{S \rightarrow A'} = 1.0001140 \times f_0$  であり、 $\frac{f_{S \rightarrow A'} - f_{S \rightarrow A}}{f_0} \approx 1.0 \times 10^{-7}$  程度の差が計算される。

### References

- 1) M. Sato, "Proposal of Michelson-Morley experiment via single photon interferometer: Interpretation of Michelson-Morley experimental results using de Broglie-Bohm picture," physics/0411217, (2004).
- 2) N. Ashby, "Relativity in the Global Positioning System," [www.livingreviews.org/Articles/Volume6/2003-1ashby](http://www.livingreviews.org/Articles/Volume6/2003-1ashby), (2003).
- 3) M. Sato, "Derivation of longitudinal Doppler shift equation between two moving bodies in reference frame at rest," physics/0502151, (2004).