

光エーテル否定即新物理学誕生の物理学史から

戦争否定即世界連邦成立の必然性を思う

熊谷直一

物理学の発展史のなかで、飛躍的大事件であった光エーテルの否定から、今日の相対論的新物理学が生れて、遂に原子内部のエネルギーが取り出されるといふ人類の科学の大進歩がもたらされ、人間の心と生活を一変せしめた。この史事実を辿って見ると、一見これと無関係に見ると考へられるが、戦争否定即世界連邦の必然性を把えることが出来る。これを述べて見たいと思う。

15 (熊谷) 先づ最初に、光エーテル (Lichtäther) が物理学に導入された理由を述べて見よう。光エーテルは単にエーテル (ether) とも呼ばれるが、有機化合物の群名称のエーテル (揮発油はこれの一種である) との混同をさけて光エーテルというのである。然し物理学の書物や論文では単にエー

テルと呼ばれるのが普通である。御承知の通り、ニュートン (Isaac Newton 1642~1727) は光の本性については光粒子説 (Corpuscular theory of light) を唱え、之れによって光の反射屈折と直進の現象を説明しえた。粒子説では光粒子が発光体から放射されると見るので、光の直進することは説明の必要のない自明のことになる。この故に光粒子説は放射説 (Emission theory of light) とも呼ばれる。屈折に対するニュートンの説明では、空気から仮えば水に入った光粒子は、空気分子よりも遙かに多数の水分子の引力を受け、そのために光線が屈折するところであるが、同時に、水中の光粒子の速さは空気中よりも大であることが必然的に要求されるのである。この水中の光速がその後問題

となった。一方 R・フック (Hooke 1635~1703) と C・ホイヘンス (Huygens 1629~1695) は、光は波動であるとす
る波動説 (Wave theory, or Undulatory theory of light) を主張して光粒子説に対した。ところがニュートン歿後百年以上も経過して、一八五〇年に J・B・L・フーコー (Foucault 1819~1868) が水中の光速を実験的に測って見たところ、空気中の光速の約 $\frac{3}{4}$ であった。この結果によって、光粒子説に終止符が打たれ、波動説が光学を独占することになった。光粒子説で説明しえた光の直進と反射屈折の現象は、波動説では粒子説以上に立派に説明しうるのみならず、光の干渉と回折の現象をも美事に説明することができて、光学上の多くの新研究が現われ、遂に、今日見るような尠大な光学の書物が出来上ったのである。

ところが茲に重要な問題がもち上った。太陽光線は途中物質のない空間即ち真空を伝わって地球に到達している。この事実を説明するために、物理学者は、音を伝えるには空気又は水という媒質 (medium) が必要であるという類似から、真空を充滿する媒質があると仮定し、これに光エーテル又は単にエーテルという名を与えた。この仮定を設けることによって、波動説は有力な根拠を得たので、光エーテルに物を語らせて、その正体をつかみ、自然の神秘を

明かさんと、物理学者は光エーテルに関する色々なテーマと取組み始めた。如何にこの研究が盛んであったかは、第十九世紀の物理学の領域が「エーテルの物理学」と「物質の物理学」との二つに分けられたことから理解できる。エーテルの研究史は、近代物理学の正に悪戦苦闘の歴史であって、この歴史を研究すると、当時の多くの物理学者達の科学する態度に私は深い感銘を覚える。この悪戦苦闘の歴史を次に述べたいと思う。

光エーテルの仮定が生れる以前に、偶然の事件から、光速が見出されていた。第十七世紀の後半、木星の第一衛星の食を観測していた O・レーマー (Römer 1644~1710) は、太陽・地球・木星がこの順で一直線に並んでいるときに、第一衛星が食が起して次の食が起るまでの時間を 2.5 時間と測定したが、約半年後に地球と木星が太陽の両側にあって、三者が一直線をなすときの食と食との間の時間は、前記の値より 96 秒長いことを見出した。之の時間のおくれを、レーマーは、光が有限の速さで地球の公転軌道の直径 299×10^6 km を渡る時間であると解釈して、光速として 3.01×10^8 km/sec $\approx 3.01 \times 10^{10}$ cm/sec. という値を見出した。これは光速決定の最初のもので、一六七五年のことである。物理学では真空中の光速を c で表わすことになって

いる。これから半世紀おくれて一七二八年に、J・ブラッドリー (Bradley 1693~1762) は、偶然の事件から星の光行差の現象を発見し、これによって光速を計算し、レーマー

と同一の結果を得た。偶然の事件というのは、彼がある日テムズ河で帆走しているとき、風信旗の示す奇妙な現象を目撃し、その説明を船頭に求めた際の船頭の答がそれであり、これに彼は重大な意味を見出したのである。科学者は、このように日常身近かな出来事に注意を払って、重要な事柄を発見するのである。星を望遠鏡で観測する場合、星の光が望遠鏡の筒の中を通る微小時間の間、筒は地球の公転速度 30 km/sec で動くために、星の見掛上の方向即ち筒の方向は星の真の方向から幾分前方に傾いていなければならない。これが行光差である。傾きの角度は、一年間の星の見掛上の方向の変化から $20' . 45$ であるので、筒内の光速は、 $c = 30 \text{ km/sec} + \tan 20' . 45 \cdot 3 \times 10^5 \text{ km/sec}$ である。光行差に類似した自近かの例がある。それは雨の中を傘をさして走るとき、傘の柄を前方に傾けなければならない事である。その後、野外又は室内で実験的に光速を測定する研究が行なわれた。一八四九年に H・L・フイゾー (Fizeau 1819~1896)、一八六二年に前記の J・B・L・フーコー、一九二六年に A・A・マイケルソン (Michelson 1852~

1931) の実験が有名となっている。今日真空中の光速の値 c は $299796 \text{ H}4 \text{ km/sec}$ と六桁まで精密に見出されている。この値はマイケルソンの得た結果である。

第十九世紀の後半になると、光エーテルは、光を秒速三〇万 km で伝播するということが確認されたが、当時すでに弾性学が発達して、固体・液体・気体の中を波動が伝わる機構が理論的に明かにされており、波動の伝わる速さを求める式も見出されていた。又この頃すでに方解石の複屈折の現象が発見されていて、その解釈は、光は横波でなければならぬことを要求したため、光エーテルの本体は始めて把握し難いものになって来た。というのは、物質を伝わる弾性波 (地震波・音波等) には縦波と横波の二種類があり、縦波では弾性体物質の微小部分が波の進行方向に平行に振動し、横波では之れに直角に振動する。自然界を見ると、固体では以上二種類の波が伝播し、気体液体では縦波のみが伝播する。ところが、横波だけが可能であるという物質は、その当ても今日も見出されていない。また縦波である光も同様に発見されていない。光エーテルだけが横波のみを伝える媒質であることに、物理学は首をかしげたのである。さらに次のような不可解なことが見出された。横波の伝播の速さを V とすれば、これは物質の密度 ρ と

剛性率即ち形の変化の弾性率 R から $V = \sqrt{R/\rho}$ という式が成立する。そこで V を光速の毎秒三〇万 km とし、光エーテルの密度を仮りに空気の密度の百万分の一と仮定して、右の式から剛性率 R を計算して見ると、鋼鉄の剛性率に匹敵する値が得られる。これに類する計算はケルヴィン卿(Lord Kelvin 1824~1907)が行なっているが、その原論文を末だ読んでいないので、私自身で右の如く計算して見たのである。もし左様であるならば、鋼鉄に匹敵する剛性率をもつ光エーテルの中を、遊星が何ら抵抗を受けないで規則正しい運行を繰り返す事実を如何に説明すべきか、という困難に陥入り、光エーテルの正体は甚だ把握し難いものとなった。然し物理学者は、この困難に屈することなく、更に別の方面から光エーテルの追及をつづけた。

運動する物体内での光の伝わり方を理論的に研究していたA・J・フレネル(Fresnel 1788~1827)は、光エーテルを静止せる弾性体と考えて、この中を物体が運動するときには、物体内では一部分のエーテルが物体と一緒に運ばれると仮定して、運動物体内の光速を求める式を見出した。この式では真空中の光速、物体の動く速さ、物体の屈折率の三者が関係しており、後世フレネルの随伴係数と呼ばれる量を含んでいる。前記のフイゾーは、一八五三年に運動

する物体として高速で流れる水を用い、有名なフイゾーの干渉実験を行なって、フレネルの理論の正しいことを実証した。前記のマイケルソン及びモーリー(E. W. Morley 1833~1923)は一八八六年に、P・ゼーマン(Zeeman 1865~?)は一九一四年に、この実験を繰り返かえて、フイゾーと同じ結果に達した。

フレネルの仮定は、光エーテルを一種の非圧縮性流体と見做す理論を形成するが、之に反対して、G・G・ストークス(Stokes 1819~1903)は圧縮性流体としての光エーテルの理論を試みた。先きに述べた如く、光を横波とするならば、光エーテルの剛性率を考えねばならなかったが、フルネルとストークスの理論では、光エーテルを流体と見做す以上は、剛性率は認められないことになる。従つて茲に光エーテルの理論に混乱と不統一を来たした訳である。

右のような理論の混乱矛盾の背景の中で、一八七三年にJ・C・マクスウェル(Maxwell 1831~1879)は光の電磁説を唱えた。彼は電磁現象の根本に関するM・ファラデー(Faraday 1791~1867)の考へを用いて作ったマクスウェルの電磁方程式から、波動方程式を導き出し、その解を求めて、電気力と磁気力の振動方向は波動(電磁波)の進む方向に垂直であること、即ち波動は横波であることを明かに

したばかりでなく、波動が真空中を伝わる速さは、電気量の電磁単位の大きさを静電単位の大きさとで除した商の値（之は普遍的定数である）に等しいことを示した。この商の値を実験的に求めて見ると真空中の光速の値に一致することが分かり、光は電磁波であるということが確認されるに至った。茲で光の弾性波動論は終末を告げ、電磁波説が採用されることになった。H・R・ヘルツ(Hertz 1857~1894)は一八八八年に、電磁波を実験室で発生させて、これが光と同じ性質を有することを示し、光の電磁波説に実験の根拠を与えた。この実験は、ヘルツの実験と呼ばれるものであるが、これが後になって、御承知の通り、無線電信の發明をもたらせた。

さて光の電磁説では、光エーテルの役目はどうなっているかと云へば、一見、光エーテルは姿を現わしていないように見えるが、前記の電磁方程式の中には、厳然と居すわっているのである。即ち真空中を電磁波が伝わる場合は、電磁方程式に出てくる電流は、電気の導体内に起るところの電流ではなくて、いわゆる変位電流だけとなる。従って変位電流の荷ない手が真空中になればならない。之は光エーテルに外ならないからである。今日電磁波の波長は、ラジオ用電波の数 km から原子崩壊の際できるガンマー線の千

億分の一 cm まで見出されており、光と称する可視光線は、この波長領域中の非常に狭い十万分の八から十万分の四の領域に存在するものである。電磁波の発見以来、光エーテル或はエーテルは電磁場の媒質として考えられることになり、面目を一新した。

前記のヘルツは、物体が運動するとき、エーテルは物体とともに動くことと仮定して、運動体の電気力学の理論を立てたが、実験と矛盾することが見出された。之に反しH・A・ローレンツ(1853~1928)は、絶対静止エーテルを仮定して、電子論の立場から運動体の電磁方程式を導き出し、それが多くの事実と一致することを見た。そして前述のフレネルの随伴係数は、静止エーテル中で電子系が運動することによって当然現われることを示した。かくて静止エーテルの仮定は合理的のように見えて来た。

そこで、静止エーテルを別の方面から確認しようとする実験が計画された。これは物理学者の夢であった地球の絶対運動の把握とも一致するものであったのである。地球上の或る一点の恒星系に対する運動は、この点の地球自転による速度ベクトル（この大きさは赤道面では秒速 $0.46 km$ ）と、地球公転による地球中心の公転速度ベクトル（この大きさは秒速 $30 km$ ）と、太陽系の太陽向点（赤経一

八・〇時、赤緯三〇度) に対する速度ベクトル(この大きさは秒速二〇km)との合成ベクトルであるが、之は恒星系に対する相對運動であつて絶対運動ではない。ところがエーテルは宇宙空間に充滿しておると考えられ、そして前記ローレンツの静止エーテルの考えは合理的に見えるので、エーテルに対する地球の運動、即ち地球から見れば、地球が受けるエーテル風(ether wind or drift)を見出すことができるならば、これこそ地球の絶対運動を把握することになる、こう多くの物理学者は考えた。そこで、このための実験が有名なマイケルソン・モーリーの実験と呼ばれるもので、一八八七年にアメリカ、オハイオ州クリーヴランドで、前記のマイケルソンとモーリーがこれを行なつた。この実験は、若しエーテル風があるならば、観測される光の干渉縞に移動が見出されると、精密なものであつたが、結果はエーテル風の速さは地球公転の速さの $\frac{1}{4}$ 以下であり、物理学者達を狼狽させたのである。一八九六年に一人の物理学者は叫んで曰く「第二のニュートン出でてエーテルの理論を教へよ」と。その後、山頂や軽気球で実験が繰りかえされ、エーテル風の速さとして秒速一乃至一・五kmという結果が見出されたが、一般の注目は得られなかつた。

マイケルソン・モーリーは、自分の実験結果から、地球は完全に、或はほとんど完全にエーテルを引っぱつて動いているという見解を持ったが、若しそうならば、前述の行光差の現象は説明できなくなる。そこで、エーテル風は実際に存在していても、マイケルソン・モーリーの実験では干渉縞に移動が現われないという説明ができればよいわけである。この説明はフィツゼラルド・ローレンツ短縮と称する、当時としては全く大胆きわまる仮定によつて可能となつた。前記のH・A・ローレンツとG・F・フィツゼラルド(Fitzgerald 1851~1901)は、互に独立に、電磁論の立場から、速度 v で運動する物体は、物尺も物尺で測られる物体も凡て、運動の方向に、 c を真空中の光速とすれば、 $\sqrt{1-v^2/c^2}$ の割合で長さが短縮していることを導き出した。これが上記の短縮の意味である。時は第二十世紀の夜明け前で、物理学はいよいよ混冥不安の情勢に置かれたのである。

右の有様を、静かに観察していた人は、チウリッヒ工芸大学の物理学部を一九〇〇年に卒業し、間もなくベルン市のスイス特許局の技術士の職にあつた青年アルベルト・アインシュタイン(Albert Einstein 1879~1955)であつた。彼は特許局在職中一九〇五年に、ドイツの物理学年報第十

七卷に、論文『運動物体の電気力学について』を提出した。この論文題目は、前述した色々の事件から分かるように、別に新しいものではないが、内容は、全く斬新で画期的であった。即ち新物理学を組立てた特殊相対性理論の最初の論文であった。この論文の緒言の中にヘーテル否定と之に關係する重要な考案が述べられてゐるが、その原文は左の通りである。

3. Zur Elektrodynamik bewegter Körper;

von A. Einstein.

Ann. d. Phys. Bd. 17 (1905), 891-921.

.....

Beispiele ähnlicher Art, sowie die mißlungenen Versuche, eine Bewegung der Erde relativ zum „Lichtmedium“ zu konstatieren, führen zu der Vermutung, daß dem Begriffe der absoluten Ruhe nicht nur in der Mechanik, sondern auch in der Elektrodynamik keine Eigenschaften der Erscheinungen entsprechen, sondern daß vielmehr für alle Koordinatensysteme, für welche die mechanischen Gleichungen gelten, auch die gleichen elektrodynamischen und optischen Gesetze gelten, wie dies

für die Größen erster Ordnung bereits erwiesen ist. Wir wollen diese Vermutung (deren Inhalt im folgenden „Prinzip der Relativität genannt werden wird) zur Voraussetzung erheben und außerdem die mit ihm nur scheinbar unverträgliche Voraussetzung einführen, daß sich das Licht im leeren Raume stets mit einer bestimmten, vom Bewegungszustande des emittierenden Körpers unabhängigen Geschwindigkeit V fortpflanzt. Diese beiden Voraussetzungen genügen, um zu einer einfachen und widerspruchsfreien Elektrodynamik bewegter Körper zu gelangen unter Zugrundelegung der Maxwell'schen Theorie für ruhende Körper. Die Einführung eines „Lichtäthers“ wird sich insofern als überflüssig erweisen, als nach der zu entwickelnden Auffassung weder ein mit besonderen Eigenschaften ausgestatteter „absolut ruhender Raum“ eingeführt, noch einem Punkte des leeren Raumes, in welchem elektromagnetische Prozesse stattfinden, ein Geschwindigkeitsvektor zugeordnet wird.

.....

右原文の美事な邦訳は次の通りである。

「之に類似した多くの例から見て、尚ほ亦「光の媒質」に対する地球の運動を証拠だてようとした実験が失敗に帰したことから見て、力学ばかりでなく電気力学に於いても「絶対静止」という概念は現象の本質に副うたものではなくて、寧ろ力学の方程式が成立つ凡ての座標系に対しては、矢張りみな同一の形の電気力学及光学の法則が成り立つであらうと推察せられます。この事は既に第一次の量に對しては確証されて居たのですけれども、私達は今此推察（其内容を以下「相対性原理」と名付けましょう）を更に一般的な仮定としようと思ひます。尚ほその外に、一見それと矛盾するようですが、真空中では光は発光体の運動の如何に拘わらず常に一定の速度 V を以て進むという仮定をも導き入れようと思ひます。此二つの仮定はそれだけで静止体に対するマックスウエルの理論を擴げて簡単な併かも矛盾のない運動体の電気力学に達せしめるのに充分であります。「エーテル」と云うような媒質はもう茲では要らなくなります。實際之から後の議論には特別な性質を具へた「絶対静止の空間」などは出て来ませんし、また電磁現象が起る真空中で絶対速度がいくらであるか云う様な事は考へる必要がないのです。」アインシュタイン全集第一巻頁3—4

訳者石原純外3名 大正十一年改造社発行

この論文の本文では、前述の相対性原理と光速一定の仮定からローレンツ変換と呼ばれる基本的公式が導き出された。これは、ある座標系 K に對して相対的に等速度運動をしている他の座標系 K' がある場合に、一方の系の座標と時間を他の系のそれと表現する式であるが、この式から、旧物理学（ニウトン物理学）では見出されなかつた数々の重要な新知識即ち特殊相対性理論が生み出された。前述のフイツゼラルド・ローレンツ短縮は、この変換式の当然の帰結として、電磁気や質量等の概念は一寸も導入されないで、座標と時間だけから、極めて簡潔に導き出せるのである。光エーテルの仮定が、約半世紀の間物理学に与えた苦惱は、この論文によって一瞬に解消され、相対論的新物理学が誕生したのである。そして旧物理学は新物理学の特別の場合として成立することが明かにされた。この新物理学の数々の大きな所産の中の最大のものは、原子エネルギーの開放であると云えよう。相対論的新物理学が生れ出した原因というか、端緒というものは、光エーテルの否定であつたと見るべきである。（この否定は、真空は、本来生れ乍ら、光を秒速三〇万kmで伝播せしめる特性を具えているという見解に外ならない。）

さて私は此のところ、物理学徒の一人として、人類の

長い歴史における戦争を取上げなければならない。何となれば、物理学における光エーテル研究の失敗の歴史が、人類の戦争の失敗の歴史と大変よく似ていると私には思えるからである。人類は、恐らく有史以前から、戦争を繰り返しているが、どの戦争も、長期の目で見ると成功を収めたものはない。また如何様に考えても、戦争を肯定すべき理由は見出し得ないのである。第二次世界戦に、私達は国民総決起で参加したのであるが、終戦とともに、戦争の無意味さと空なしさを、まざまざと体験したことを決して忘却してはならない。人間が、戦争に物を言わせようとしたことは、物理学者が、光エーテルに物を言わせようとしたことと全く類似している。若し、もう一度戦争をしようと考えてる人が、若し物理学を熟知しているならば、その人は、もう一度光エーテルを追いかけると思う。私は、光エーテル否定の物理学史に、戦争否定の必然性を類推するのである。光エーテルを否定したアインシュタインは、戦争を否定して世を去った。戦争否定は、現代著名の科学者（日本では茅誠司・湯川秀樹の両氏で作られているグループ）は云うに及ばず、人類各階級の一人一人が、ひそかに懐いている願望となっている。今日の言論、世相、国連の活動内容などから、この願望に沿うて人類の歴史は転換期に入ろう

としてみると、私には観察される。今日、反戦という言葉が盛に使用されているが、これは否戦という言葉で置き代えるべきだと思う。否戦は反戦よりも遙かに強い信念から出ている言葉である。戦争否定が実現されたならば人類に何が出現するだろうか。光エーテル否定即相対論的新物理学誕生に対して、戦争否定即世界連邦成立が対応するようである。世界連邦においては、政治的国境を徹廃し、万国平等を唱える世界法で秩序を保ち、国と国との争いは、最後的には、世界連邦法廷を話合の場として解決を求め、緊急の場合は世界連邦警察力が行動をとる、というような機構が予想される。このような世界連邦は、明治維新で日本連邦が出来上ったことと、質的には、大変よく類似している。相対論的新物理学の最大の所産は原子エネルギーの開放であるが、然らば、将来世界連邦の誕生によってもたらされるものは、何であろうか。今時点では、予想のできない素晴らしいものに相違ない。これを、今日の末来学でコンピューターによって予想することは、興味ある研究であると思われる。

然し、今日最も緊急なことは、国連に世界連邦建設の準備を研究する委員会を早く作り、これに国連加入国から委員を派遣することである。この提言のイニシヤチーフを

日本がとつても一向不自然でない。世界で始めて原爆を被むつて、近代戦争の恐ろしさを全人類に代わつて体験した日本、世界に卒先して戦争否定の憲法を作つた日本は、このイニシヤチーフをとるに、資格は十分であると思う。現在世界各地で起つている困難な紛争の解決ができないのに、世界連邦は無理であると云う人が若しあるとするならば、この人は百年河清を待つゝの誹りをまぬがれないだらう。この人は眞の政治家たる資格に欠けていると云いうる。またこの人は、人間の頭脳が、同時に複数の問題の解決と取り組むことの可能であることを御存じないのである。アメリカのある大会社の研究所で、唯一つのテーマをもつ研究者と、複数のテーマをもつ研究者の能率の比較をして見たところ、後者が前者を凌駕していることが見出された。人間の頭脳の働きにおいては、複数のテーマの各々が互に有機的関連性を持つているのでそのような結果になつたのである。この例は、デカルト、ライブニッツその他多数挙げることができる。従つて、現在の国家間の紛争も、当事国それぞれの国の主張を、世界連邦の精神に組合わせ、これを複数テーマとして、その解決の可能性を探索しようと思う。この仕事は、恐らく前例がなく、容易ならざるものであるが、これに対する努力は、人類の新しい

歴史の出現を意味すると考えられる。

前述した光エーテル研究史は、手許にある限りの書物を資料としてまとめたのであるが、正確に述べるためには、更に文献をしらべなければならぬ箇所が、あちこちにあるようで、之れ等は今後訂正を要するかと思われるので、これを茲にお断りしておき度いと思う。なお、終りにおいて、光エーテル否定と戦争否定とを、前述した意味で、同一視することは以前から考えていたことであるが、その論じ方には、自分乍ら、少なからず未だ不徹底を感じるところがあるが、主旨は矢張り以前から考えていたものである。

(本学教授、物理学・地学)