

ないであらう。彼等がめい／＼観測する現象は、或は早く、或は遅れて、運動しない場合と同じ時刻には起らないであらうが、正しく合つてゐない時計で観測するため、彼等にはその事がわからず、見かけには何の變りもないであらう。

このことからして、光行差の自乗を無視する限り、兩観測者の差がなくなることは、容易に説明されるといへる。そして久しい間、實驗は、これを問題とする程に精密ではなかつた。しかし、遂にマイケルソンは、更に極めて精妙な方法を工夫した。彼は、鏡面で反射された後異つた徑路を通る線を干渉させた。その徑路は各々僅々一米あり、干渉の縞は、一ミリメートルの百萬分の一の差をも感じ得るのであつて、もはや、光行差の自乗を無視することは出来なかつた。而も、その結果は矢張り否定的であつた。それ故、この理論は補足されなければならなくなり、ローレンツとフョッツ・ジョラルド Fitz-Gerald との假説によつて、補はれたのである。

この二物理學者は、すべての運動してゐる物體は、この運動と垂直な長さは變らないが、この運動の方向に於ては或る收縮をうける、と假定する。この收縮は、すべての物體について同一である。又、これは極く僅かであつて、地球位の速度については、殆ど二億分の一程である。その上私たちの道具では、それが遂に精密になつたとしても、この收縮を發見することは出来なからう。實際、測定に用ゐる物差も、測るべき對象と同じ收縮をうけるのである。もし或る物體が、隨つて物差が、地球運動の方向に向いてゐる時に、その物體がその物差に正確に合ふならば、この物體と物差とは、方向を變へると同時に長さをも變へるにも係らず、その變り方が、兩者共に同じであるから、他の方向に於ても、この物體は、矢張りこの物差に正確に合うであらう。しかし、もし長さ

を物差で測らず、光がそれを通過するに要する時間で測るならば、前とは同じでない。そして、マイケルソンの行つたのは、まさにこのことである。

靜止してゐる時に球形の物體は、運動してゐる時には、短回轉楕圓體の形をとるであらう。而も観測者は、常にそれを球形と考へるであらう。といふのは、彼自身も、目標となるべきすべての物體も、共に同様な變形をうけるからである。之に對して、嚴密に球形を保つてゐる光波面は、彼には長楕圓面と見えるであらう。

さうすると、どういふことになるであらうか。一緒に運動する観測者と光源とを考へよう。光源から出る波面は、光源が順次に占める位置を中心とする球であらう。この中心と光源の現在の位置との距離は、光が出てから今迄に經過した時間に、即ち球の半徑に、比例する。それ故、これらすべての球は、光源の現在の位置Sに對して、互に相似 homothétique である。しかし観測者にとつては、收縮のために、これらすべての球は、長楕圓面と見え、又すべてこれらの楕圓面は、點Sに對して、矢張り相似であらう。すべてのこれらの楕圓面の離心率は同一であり、唯地球の速度だけに關係する。私たちは收縮の法則を、この點Sが、楕圓面の子午切斷面の焦點となる様を選ぶであらう。

このたびは、相殺關係は嚴密であり、この事が、マイケルソンの實驗を説明するところのものである。

私は前に、普通の理論によると、天文學的な光行差の観測に依つて、もし器械が千倍も精密になれば、地球の絶對速度を知ることが出来よう、といふことを述べた。私は、この結論を變更しなければならない。成程観測された角度は、絶對速度に依つて違ふであらうが、角度を測る目盛りした圓も、運動に依つて變形されて、楕圓とな

つてゐるであらう。その爲めに、測つた角度にも誤差が出来るであらうが、而もこの第二の誤差が、最初の誤差を、精確に相殺してしまふであらう。

このローレンツとフィッツ・ジェラルドとの假説は、最初は頗る珍らしくも思はれよう。今の場合この假説のために云ひ得るのは、唯、もし光が通るに要する時間で長さを定めるならば、これがマイケルソンの實驗の結果の直接な解釋である、といふことだけである。

何はともあれ、相對性原理が自然の一般法則であるといふ、又私たちは、考へ得られる如何なる手段によつても、相對的速度のみしか知ることが出来ないといふ、印象を除くことは出来ない。私がかういふのは、たゞ物體のエーテルに對する速度のみではなく、一物體が他の物體に對する速度をも、意味するのである。澤山の實驗は、私たちがこの相對性原理に對して、例へば等値の原理 *Principe d'équivalence* に對しての様な價値をあたへずにはゐられない程、一致した結果を與へた。いづれの場合にも、この様な見方が、どういふ結論に達するかをしらべ、次に、その結果を、實驗によつてためして見るのがよい。

三 反作用の原理

ローレンツの理論に於て、作用反作用相等の原理が、どうなるかを見よう。茲に、何かの原因で運動を初めた電子Aがあると、それに依つて、エーテルの擾亂が生ずる。ある時間の後に、この擾亂は他の電子Bに達し、これはその平衡の位置から動かされる。かういふ状態では、作用と反作用とが等しいとはいはれない、少くとも、

エーテルを考慮に入れず、唯電子のみを——物質は電子から出来てゐるのであるから、これのみが觀測され得るものである——考へるとすれば。

成程、電子Bを動かすものは、電子Aである。しかし、電子Bが電子Aに再び作用して、この反作用が、作用に等しいかも知れぬとしても、電子Bは、傳播に要する或る時間の後でなければ、動き初めることが出来ないから、それは決して、同時的である譯にはゆかない。もし、この問題を、もつと詳しく計算すれば、次の様な結果に達する。拋物鏡の焦點にあつて、これと機械的に結びついてゐるヘルツの振動器を考へる。この振動器は電磁波を輻射し、鏡はこの波動を全部或る同じ方向に反射する。それ故、振動器は、或る一定の方向に、エネルギーを輻射するであらう。處が計算に依ると、彈丸を發射した大砲の様に、この振動器は後退しようとする。ことがわかる。大砲の場合には、後退は、作用反作用が相等しいことの、當然な結果である。大砲は、その作用した彈丸が作用し返すために、後退するのである。

しかしこの場合は、もはやそれと同じくない。振動器の輻射したのは、もはや物質的の彈丸ではなく、エネルギーである。そして、エネルギーには質量がない、隨つて、そこには反動もない。そして私たちは、振動器の代りに、簡単に、光線を唯一方向のみに集める反射器のついたランプを、考へてもよかつたであらう。

「もし振動器又はランプから出たエネルギーが、物質的な對象に達すれば、この對象は、實際の彈丸が當つたかのような、力學的の壓力をうけるだらう」といふ事、又、「もしエネルギーが途中で失はれなかつたなら、そして、この對象がエネルギーを全部吸収したなら、この壓力は振動器或はランプの後退に等しいだらう」といふことは、

事實である。それ故私たちは、作用反作用の間には、矢張り相殺の関係がある、といはうとするであらうが、この相殺が完全であるとしても、それはいつも遅れるのである。もし、光が光源を出てから、天體間の空間に迷ひ出て、一つの物質的な物體にも出遇はない時は、この相殺は決して起らず、もし光のあたつた物體が、完全にそれを吸収しない場合には、相殺は不完全である。

この力學的の作用は、測定することが出来ない程小さいものであらうか、或は實驗に依つて認められ得るであらうか。この作用はマクスウェル・バルトリ *Maxwell-Bartholi* の壓に他ならない。マクスウェルは、靜電氣及磁氣に關する計算に依つて、この壓力を豫言し、バルトリは、熱力學的の考察から、同じ結果に達した。

彗星の尾を説明するのも、これに依つてである。彗星の頭からは、小さい粒子が出てゐるが、これらは太陽の光にうたれて、丁度太陽から来る彈丸の雨にでもうたれたかのように、ふき飛ばされる。この粒子の質量は、非常に小さいから、この反撥力がニュートンの引力に打ち勝つて、それを動かす、そこで、この粒子は太陽から遠ざかり、尾となるのである。

この事を直接實驗的に檢することは、容易ではなかつた。最初の試みは、放射計 *Radiometre* を造るに至らした。しかし、この器械は、理論的の方向と反對の方向に、あべこべに廻轉した。この廻轉の説明は既に發見されてゐるが、まるで違つたものである。しかし、一方その真空の度を増し、他方、板の片面を黒くせず、又、束光線を片面にあてる様にして、遂に成功した。放射計的效果と、他のこれを亂す原因とを、細心の注意によつて除き、極めて小さくはあるが理論に一致すると思はれる偏倚を得たのである。

マクスウェル・バルトリ壓と同じ結果は、上記のヘルツの理論からも、ローレンツの理論からも、同様に豫期せられるが、そこに相違もある。エネルギーが、例へば光の形で、或る光源から、透明な媒質を通つて、或る物體にゆくとする。マクスウェル・バルトリの壓は、出發の時光源に、到達の時光をうける物質に、作用するのみでなく、その通過する透明な媒質たる物質にも作用する。光波がこの媒質の新しい場所に達する時には、この壓力は、そこに在る物質を前方に推し進め、光波がその場所を去る時には、後に推し戻すであらう。随つて、光源の後退は、この光源に接した透明な物質が前進する反動である。暫くしてこの物質が後退するのは、その少し前方にある透明な物質が前進する反動であり、順次この様に進む。

たゞ、この相殺は完全であらうか。マクスウェル・バルトリの壓が、透明な媒質の物質に及ぼす作用は、光源に及ぼす反作用と等しいであらうか。又それはこの物質の如何に依らないであらうか。或は、媒質が屈折性でなくなるに隨ひ、又稀薄になるに隨ひ——真空に於ては零となる様な風に——次第にこの作用も少くなるのであらうか。もし、物質はエーテルに機械的に結合し、エーテルは全然物質に伴はれると見るヘルツの理論を許せば、第一の間には「さうだ」といひ、第二の間には「否」と答へなければならぬであらう。

さうすれば、作用反作用相等の原理がいふ様な完全な相殺關係は、屈折性の少い媒質中にでも、空氣中にでも、遊星間の真空中にでもあるのであつて、唯どんな微細なものにもせよ、物質が残つてゐると考へればよいのである。之に反して、ローレンツの理論を許すならば、この相殺はいつも不完全であり、空氣中では殆ど認められず、真空中では零となる。

しかし、私たちは前に、フィゾーの實驗がヘルツの理論を保つのを許さないことを見た。それ故、ローレンツの理論を採用しなければならず、随つて、反作用の原理を棄てなければならぬ。

四 相對性原理の歸結

私たちは前に、相對性原理を自然の一般的な法則として見る様になつた理由を見た。もしこの原理が、決定的に證明されたものとすれば、それはどういふ結果になるであらうか。

先づ、すべての物體が、その運動の方向に收縮する、といふローレンツ・フィッツ・ジェラルドの假説を、一般化しなければならぬ。詳しくいへば、この假説を、電子そのものへも擴張しなければならない。アブラハムは、この電子を、球形で變形しないものと考へた。私たちは、この電子が、静止の時に球形なら、運動中はローレンツの收縮をうけ、短楕圓形となることを許さなければならない。

電子のこの變形は、その力學的の性質にも影響するであらう。事實私は、この荷電電子の運動は、眞の帶動電流であり、その見かけの慣性は、この電流の自己感應に依る——陰電子では全部がさうであるが、陽電子では全部か否か、私たちは未だ知らない——のであるといつた。さて、この電子の變形、その速度に依る變形は、電子の表面に於ける電氣の分布を、随つて、それに依つて生ずる帶動電流の強さを、随つて、この電流が速度の函數として變化する法則を、變へるであらう。

この點については、相殺は完全であり、相對性原理の要求と一致するが、それは、次の二つの條件の下に於て

である。

- 一、陽電子には眞の質量はなく、唯電磁的の假の質量だけである。或は、少くとも、眞の質量があつたにしても、それは不變でなく、その假質量と同じ法則に従つて、速度と共に變化する。
- 二、すべての力は、電磁的におこつたものである。或は、少くとも、それは、電磁的に生じた力と同じ法則に従つて、速度と共に變化する。

この著しい綜合をなし遂げたのも、矢張りローレンツである。暫くこゝに留まつて、これから生ずる結果を見よう。第一、そこにはもはや物質といふものはない。何故なら、陽電子も最早眞の質量、或は少くとも、不變な眞の質量をもつてゐないから。それ故、質量の不變の上にたつ私たちの力學的の現在の原理は、變更しなければならない。

次には、すべての既知の力の、とりわけ重力の、電磁的な説明を求めなければならない。少くとも、電磁的な力と同じ様に、速度によつて重力が變る様な具合に、重力の法則を變更しなければならない。私たちは、この點に再び戻るであらう。

すべてこれらの事は、最初は幾分人爲的に思はれる。殊に電子の變形は、甚だ假説的なものとも見られる。しかし私たちは、この事を、上とはちがつて、この變形の假説を推理の基礎としないで、表はずとも出来る。電子を物質の點の様に考へて、相對性原理に反せぬ爲めには、その質量が、速度の函數として、どういふ風に變らなければならぬかをたづねよう。或は寧ろ、相對性原理を破らずに、そして、速度が極めて小さい場合には、

再び普通の法則となる様にするためには、電子の加速度は、電場又は磁場の影響をうけて、どういふ風に變化しなければならぬかを探ねよう。私たちは、この質量の或はこの加速度の變化が、電子がローレンツの變形をうけたかの様に起らなければならぬことを見出すであらう。

五 カウフマンの實驗

それ故、茲に二つの理論がある譯である。一は、電子が變形せぬとするもの、即ちアブラハムの説であり、他はそれがローレンツの變形をうけるとするものである。兩方の場合とも、電子の質量は速度と共に増し、この速度が光速度に等しくなれば、質量は無量大となる。しかし、その變化の法則は同じでない。それ故、質量變化の法則を検する爲めにカウフマンの用いた方法は、この兩説を判定する實驗的手段を供するものと思はれる。

不幸にして、彼の最初の實驗は、その爲めに十分な程正確でなかつたため、彼は、一層電場の強さを慎重に測り、一層注意深くやり直さなければならぬと思つた。この新たな實驗は、アブラハムの理論に有利であつた。それ故相對性原理は、私たちがそれに與へようと思ふ所の嚴密な價值をもつてはゐず、もはや、陽電子も陰電子の様に眞の質量がない、と信すべき何の理由もないと思はれる。

しかしながら、この結論を決定的に採用する前に、少しばかりの反省の要がある。この問題は甚だ重要であるから、カウフマンの實驗を、誰か他の實驗者に、繰返して貰ひたいのである。が不幸にして、この實驗は甚だ精妙であつて、カウフマン程の巧な物理學者でなければやれさうにもない。すべての用意は適當になされ、どんな

抗議をする餘地もないのである。

(註) 印刷の際に、ブッヘルル氏が新しい注意を以つてこの實驗を繰返し、カウフマンに反して、ローレンツの考に一致する結果を得たことを知つた。

しかし私は或る一點について、注意を促したい。それは靜電場の測定に於てであつて、すべての事が、この測定に懸つてゐるのである。この電場は、蓄電器の二つの發電子 Armateur の間につくられ、この發電子の間は、完全に絶縁する爲めに、極めて完全な真空としなければならなかつた。かうして、この二發電子の電位差を得、この電位差を發電子の距離で割つて、電場を求めた。これは電場が一樣であることを假定してゐるのであるが、この事は果して確かであらうか。一方の發電子、例へば陰發電子の附近で、急激に電位が下つてゐた、といふ様なことはなからうか。金屬と真空との接する所には、電位の差があるかも知れず、又この差は、陽の方と陰の方とで、同じくないかも知れない。私がかう思ふのは、水銀と真空との間には、電氣瓣効果があるからである。その様な事のある可能性が、どんなに小さいにしても、それを勘定に入れる餘地はあらうと思はれる。

六 慣性の原理

新力學に於ても、慣性の原理は矢張り正しい。即ち、孤立した電子は、等速直線運動をするであらう。少くとも、普通はこれを許すに一致するのである。しかしリンデマン Lindemann は、かういふ見方に反對した。この議論は、難しい性質のものであつて、茲に述べることは出来ないから、私はそれに立ち入らうとは思はない。い

づれにして、リンデマンの抗議を避ける爲めには、この理論を少し變へれば十分なのである。

私たちは、液体中に在る物體が、運動してゐるときには、大きな抵抗をうけることを知つてゐるが、それは、液体に粘性があるからである。全く粘性のない理想的な液体中では、物體は、その後には跡浪 *Poupe*、一種の船跡 *Sillage* を生ずるであらう。最初それを動かすはじめるには、その物體自身のみならず、跡浪の液体をも動かす必要があるから、多大の努力を要しようが、一度運動を得れば、この物體は進行しながら、液体の全活力 *Force vive* を増すことなしに、この液体の運動を伴つてゆくに過ぎないから、運動は抵抗なしに續くであらう。それ故萬事が、その慣性が増したかの様に起るのである。エーテル中を進行する電子も、同様に振舞うであらう。その周囲のエーテルはかき亂されるが、この擾亂は、この運動する物體に伴ふ電場磁場が不變である様に見え、又電子の速度が變化しない以上は、變り得ないであらう。それ故電子を運動させる爲めには、この電場のエネルギーを創り出さなければならぬから、努力を要するであらうが、一度運動が得られると、それを保つには何の努力も要しまい。といふのは、作られたエネルギーが、唯電子の後に、跡浪の様についてゆけばよいのであるから。それ故このエネルギーは、液体の擾亂が完全液体中に在る物體の慣性を増す様に、唯電子の慣性を増し得るだけである。そして電子は、少くとも陰電子は、この他には慣性を持つてゐない。

ローレンツの假説に於ては、活力は、エーテルのエネルギーに他ならないのであるが、それは v に比例しない。疑もなく、 v が極めて小さい時には、活力は明に v^2 に比例し、運動量は明に v に比例し、二種の質量は明に不變で、互に相等しい。しかし速度が光速度に近づけば、活力、運動量、二種の質量は、すべての限界を超えて増大

する。

アブラハムの假説でも、その表はし方は多少複雑になるが、その根本に於ては、上述の事があてはまる。

かうして、質量、運動量、活力は、速度が光速度に等しい時には、無限大となる。このことから、どんな物體も、どんな手段に依つても、光速度以上の速度に達することは出来ないといふ結果が出る。又實際、速度が増すに従つてその質量が増し、隨つてその慣性が、すべての新しい速度の増加を、益々妨げる様になる。

さうだとすれば、茲に疑問が起る。相対性原理を許せば、運動中の観測者は、自分の固有の運動を認める術がない。それ故、もし、どんな物體も、その絶對運動に於て、光速度を超えることは出来ないが、いくらでもそれに近づく事が出来るとすれば、その事は、観測者に對する相對運動についても、同じでなければならぬ。そこで人は、次の様に推論しようとするかも知れない。観測者は、二十萬キロメートルの速度に達することが出来る、物體も、この観測者に對する相對運動において、同じ速度に達することが出来る。さうすれば、その絶對速度は四十萬キロメートルであらう。が、これは光速度よりも大きい數字であるから、不可能である、と。しかし、これは見かけだけに過ぎないので、ローレンツの局所時を計算する方法を考へ入れれば、消え失せるのである。

七 加速度の波 *onde d'accélération*

電子が運動してゐる時には、それは周囲のエーテル中に擾亂を起す。もしその運動が直線等速であれば、この擾亂は前節に述べた跡浪となる。しかし、その運動が曲線的であるか、變化するかであれば、もはや同じくない。

その場合には、この擾亂は、ランジュヴァン Langevin が速度の波 *Yonde de vitesse*、加速度の波、と名づけた二つの異つたものが、重なつたものと見られる。

速度の波とは、等速運動で生ずる跡浪に過ぎない。

加速度の波はといへば、これは全く光波と同じ様なもので、電子が加速度をうける時にそれから出て、次に引續き球状をしながら、光速度を以つて傳はつて行く。

これから、かういふ結果になる。直線等速運動では、エネルギーは悉く保存されるが、加速度があれば、必ずエネルギーの損失があり、それは光波の形で失なはれ、エーテルを通つて、無限に遠くへ行つてしまふ。

とに角、この加速度の波の影響は、殊にそれに應ずるエネルギーの損失は、大抵の場合、即ち、唯普通の力學や、天體の運動に於てばかりでなく、尙、加速度は大きくないが速度の非常に大きなラヂウム線に於てさへも、無視することが出来る。そこで私たちは、力は加速度と質量との積にひとしい、しかし、この質量は前述の法則に従つて變化する、として、力學の法則を應用するに満足することも出来よう。この場合には、運動は準定常的 *quasi-stationaire* であるといふ。

このことは、すべて加速度の大きい場合には同じくしない。その主なものは、次のものである。

一、白熱した氣體に於ては、或る電子は、非常に振動数の多い振動をする。その變位は極めて小さく、その速度は有限であるが、而も加速度は非常に大きい。さうして、エネルギーはエーテルに移る。この氣體が電子の振動と同じ周期の光を發するのは、その爲めである。

二、逆に氣體が光をうけると、この同じ電子は、大きい加速度で運動し初めて、この光を吸收する。

三、ヘルツの振動器では、金屬體の中を廻つて居る電子は、放電の瞬間に急激な加速度をうけ、次で大振動数の振動をする。このことによつて、一部のエネルギーは、ヘルツ波の形で輻射されることとなる。

四、白熱せられた金屬では、この金屬中に閉ぢ込められた電子が大速度で動かされ、金屬の表面に當つて、これを突破することが出来ずに反射し、かうして大きな加速度をうける。金屬が光を發するのは、この爲めである。これは私が既に第一章第四節で説明したことである。黒體に依る光の輻射の法則の詳細は、この假説に依つて完全に説明される。

五、最後に、陰極線が對陰極 *Anticathode* をうつ時には、この線を構成し非常な大速度で動いてゐる陰電子は、急に止められる。かうして受ける加速度の結果、エーテル中に波動を生ずる。ある物理學者に依ると、これがレントゲン線 *Rayon Röntgen* の生ずる源であり、この線は、非常に短い波長の光線に他ならぬのである。

第參章 新力學と天文學

一 重 力

質量は二種に定めることが出来る。一、力を加速度で割つた商に依つて。これは質量の眞の定義であつて、物體の慣性を測る。二、ニュートンの法則に従ひ、物體が外部の物體に及ぼす引力に依つて。それ故私たちは、慣性の係數としての質量と、引力の係數としての質量とを、區別しなければならぬ。ニュートンの法則に従へば、これらの二係數の間には、嚴密な比例があるのである。しかし、それは唯、力學の普通の原理が應用され得る速度について、證明されたに過ぎない。さて私たちは、慣性の係數としての質量が、速度と共に増すことを知つた。私たちはこれから、引力の係數たる質量が、同じく速度と共に増し、引續き慣性の係數に比例する、と結論すべきであらうか。或は反對に、この引力の係數は不變である、と結論しなければならぬだらうか。私たちに、この問題を判定すべき何の手段もないのである。

その上、若し引力の係數が速度に依るものとすれば、互に引き合ふ二物體の速度は通常同じでないから、この係數は、この二つの速度のいづれに依るのであらうか。

この問題については、私たちは假説を立てる他ないのであるが、當然これらの假説の中、どれが相對性原理と一致するだらうかをしらべる様になる。かういふ假説は澤山あるが、私が唯一つ茲に云はうとするのは、ローレンツのものである。次にこれを簡単に述べよう。

先づ、靜止してゐる電子を考へよう。符號の同じ二つの電子は互に反撥し、符號のちがふ二つの電子は互に引き合ふ。普通の理論では、それらの相互作用は、その電荷に比例する。それ故、若し四つの電子、即ち二つの陽電子、 A, A' と、二つの陰電子 B, B' とがあり、又、この四電子の電荷の絶對値が同じであるとすると、 A と A' との反撥力は、同じ距離の B と B' との反撥力と等しく、又 A と B' との、或は A' と B との引力にも等しからう。それで、若し A と B とは互に非常に近く、又 A' と B' とも同様として、この $A+B$ と $A'+B'$ といふ系に及ぼす作用をしらべれば、二つの反撥力と二つの引力とは、丁度互に打ち消し合ひ、その結果作用は零となるであらう。

處が、物質の分子は、丁度すべての電荷の代數的和が零になるやうな陰陽の電子が廻轉してゐる太陽系の一種、と見られる筈である。それ故物質分子は、すべての點で、上述の $A+B$ といふ系に似たものであり、隨つて、二つの分子の互の電氣的作用は、零となる筈であらう。

しかし、實驗の示すところでは、これらの分子は、ニュートンの重力のために、互に引き合ふ。そこで、二つの假説を出すことが出来る。重力は、靜電氣的引力と何の關係もなく、全く異つた原因に依るので、唯それと重なり合つてゐるだけだ、と考へることも出来るし、或は又、引力は電荷に比例せず、 $+$ の電荷が $-$ の電荷に及ぼす引力は、二つの $+$ の電荷間の、又は二つの $-$ の電荷間の、相互の反撥力よりも大きい、とすることも

出来る。

言ひ換へると、陽電子で生じた電場と、陰電子で生じた電場とは、別々でありながら重なり合つてゐる。陽電子は、陽電子に依つて生じた場に對してよりは、陰電子に依つて生じた場に對しての方が餘計に感じ易く、陰電子についてはこの逆である、といふのである。この假説は、勿論靜電氣學を幾分複雑にもするが、その中に、重力をも包括することが出来る。これは大體に於て、フランクリン Franklin の假説であつた。

さて電子が動いてゐれば、どういふことになるであらうか。陽電子はエネルギーの中に擾亂を起し、電場磁場を生ずるであらう。これは陰電子についても、同じ事である。次に電子は、陰陽共に、この異つた場に依つて、機械的な衝動をうけるであらう。普通の理論では、陽電子の運動に依る電磁場は、符號が反對で絶對値の同じ二つの電子に對して、符號反對の等しい作用を及ぼす。そこで私たちは、陽電子の運動に依る場と、陰電子の運動に依る場とを區別せず、只この二つの場の代數的和、即ち合成された場だけを考へても不都合はない。

之に反して、この新理論では、陽電子に依る電磁場が陽電子に及ぼす作用は、普通の法則に従つて起り、陰電子に依る場が陰電子に及ぼす作用も、同様である。さて今、陽電子に依る場が陰電子に及ぼす(或はこれと逆の)作用を考へよう。それは矢張り同じ法則に従ふが、しかし違つた係數をもつてである。各電子は、同名の電子によつて生じた場に對してよりも、異名の電子に依つて生じた場に對して感じ易い。

これがローレンツの假説であつて、これは低速度では、フランクリンの假説に歸する。それ故これは、この低速度では、ニュートンの法則とも一致するのである。その上、重力も電磁的に起る力に歸するから、ローレンツ

の一般理論はそれにも應用せられ、隨つて、相對性原理は破られないであらう。

この事から、ニュートンの法則が大速度にはもはや應用出來ず、運動體については、靜電氣學の法則が運動中の電氣についてされると全く同じ具合に、變更されなければならぬことがわかる。

私たちは、電磁的な擾亂が、光速度で傳播されることを知つてゐる。それ故重力は、ラブラースの計算に依ると、少くとも光の一千萬倍速く傳播すること、隨つて又、それは電氣力學的に起ることは出來ない、といふことを想ひ起して、前の説を却けようとするだらう。ラブラースの結果はよく知られてゐるが、その意味は、普通は知られずにゐる。ラブラースは、若し重力の傳播が瞬間的のものでないならば、その傳播の速度は、丁度天文學的光行差の現象で光について起る様に、引かれる物體の速度と結びつき、有效力がこの二物體を結ぶ直線の方に向かず、この直線と小さい角度をする様な具合になる、と假定した。これは全く特別な、正當とは認め難い假説であつて、いづれにしても、ローレンツのものとは、まるで異つたものである。ラブラースの結果は、決してローレンツの理論に反對することは出來ない。

二 天文上の觀測との比較

上述の諸理論は、天文の觀測と一致するであらうか。先づ第一、もしこれらの理論を採用すれば、惑星の運動エネルギーは、加速度の波として始終失はれてゆくであらう。この事からして、天體の平均運動は、丁度これらの天體が、抵抗のある媒質の中を運動してゐるかの様に、始終その速度を變へる、といふことになる。しかし、

この影響は非常に小さく、最も精密な観測によつても見出されない。天體の加速度は比較的小さいから、加速度の波による影響は無視され、その運動は、準定常的と見ることが出来るのである。この加速度の波の影響が、絶えず積つてゆくことは事實であるが、この積り方も非常におそく、それが認められる様になる迄には、數千年も観測しなければなるまい。

それ故、この運動を準定常的と考へて、次の三つの假説について計算して見よう。

- A アブラハムの假説（不變形の電子）を許し、ニュートンの法則を従來の形で保存する。
- B 電子の變形についてのローレンツの假説を許し、従來のニュートンの法則を保つ。
- C 電子についてのローレンツの假説を許し、前節でした様に、ニュートンの法則を相對性原理に合ふ様に變更する。

この影響の一等見られ易いのは、水星の運動に於てで、それは、これが最も大きい速度をもつた惑星だからである。テイスラン Tisserand は嘗て、ウェーベル Weber の法則に従つて、この計算をした。ウェーベルは、電子（この名はまだ無かつたが）は相互に、それを結ぶ直線の方向に、引力と反撥力とを及ぼし、又これは、唯それらの距離によるばかりでなく、第一次、第二次の微分係數、つまりその速度と加速度とに關係する、と假定して、靜電氣學と電氣力學との現象を、同時に説明しようとしたのである。このウェーベルの法則は、今日勢を得ようとしてゐる法則とは可なり異つてゐるが、尙幾分似たところもある。

テイスランは、若しニュートンの引力が、ウェーベルの法則に一致する様にはたらくとすると、水星の近日點

が、百年に十四秒だけ變ることになるだらう、といふことを發見した。この變化は、觀測されたがまだ説明することの出来なかつた變化と、同じ方向にであるが、しかし、觀測されたのは三十八秒であるから、それよりは小さい。

A、B、Cの假説に戻つて、先づ、固定された中心に引かれる惑星の運動を研究しよう。この場合には、BとCとの假説は區別がなくなる、何故かといふと、若し引力の中心點が固定してゐれば、それから生ずる場は純粹に靜電場であり、ここでは引力は、ニュートンの法則と同じクーロン Coulomb の法則に従つて、距離の自乗に反比例して、變化するからである。

活力の方程式は、活力に新しい定義を與へれば、そのまま通用し、同様に面積の方程式は、他のそれに相應するものと置き換へられる。運動量の能率は不變であるが、運動量は、新力學に依つて定義されなければならぬ。

認められ得る唯一の結果は、近日點の毎百年の運動である。この運動について、ローレンツの理論ではウェーベルの法則の與へるものの半分、アブラハムの理論では五分の二となるであらう。

さて、若し二つの運動體が、その共通の重心に引かれてゐると假定しても、この影響は極く僅か變るだけである。尤も、計算は多少込み入つて来る。それで、水星の近日點の運動は、ローレンツの理論では七秒、アブラハムの理論では五・六秒となるであらう。

尙又、この影響は、 $\frac{1}{n^2}$ に比例する。 n は星の平均運動、 a はその軌道の半徑である。それ故諸惑星につい

ては、ケプレル Kepler の法則に依つて、この影響は $\sqrt{a^3}$ に反比例して變る。随つて、それは水星についての他は認められない。

月についても、それは同様に認められない。n は大きい、a が極めて小さいからである。大體を云へば、水星に較べて、金星では五倍、月では六百倍も小さい。尙、金星と地球とについて云へば、近日點の運動を（この運動の同じ角速度について）天文學的な観測で見出すのは、更に一層難しい。といふのは、その軌道の離心率が、水星のものよりも、遂に小さいからである。

まとめて云ふと、天文の観測で認められ得る唯一の影響は、水星の近日點の運動であらう。これは、観測されたが説明のつかない近日點の運動と、同じ方向ではあるが、それより遂に小さい。

そこで、水星の近日點移動の大部分について、他の説明を求めなければならぬから、新力學にとつて、有利な論據と見ることは出来ないが、それに反對する論據とは、尙更見られないのである。

III ルサージュ L'essaye の理論

この考察を、以前から萬有引力の説明の爲めに出された理論と、比較しよう。遊星間の空間中には、すべての方向に、非常な大速度で、非常に小さい微粒子が飛び廻つてゐる、と假定する。この空間中に孤立した物體は、この微粒子の衝突が、各方向とも等しく分布されてゐるから、それに依つて、見かけ上は何の影響も受けぬ。併し、もし二物體 A、B があるならば、物體 B は隔て障子となり、さもない時は A を打つ筈の微粒子の一部を、

遮るであらう。そこで、B と反對側に A がうける衝突は、もはやその反對者がないか、或は完全に打ち消されない爲め、A を B の方に押すであらう。

これがルサージュの理論である。私たちは先づ、普通の力學の立場に立つて、これを吟味して見よう。先づこの理論が要求する衝突は、どんな風に起らなければならないか。それは完全弾性體の法則に従つてか、非弾性體の法則に従つてか、或はその中間の法則に従つてであらうか。ルサージュの微粒子は、完全弾性體の様にはたらくことは出来ない、さもないと、その影響はなくなるであらう、何故かといふに、物體 B で遮られた微粒子の代りに、B で撥ね返つた他の微粒子があり、計算に依ると、それで全く帳消しになつてしまふからである。

それ故、微粒子は、衝突に依つて、エネルギーを失はなければならぬ。そして、このエネルギーは、熱の形で再び現はれるであらう。しかし、かうして生じた熱量は、如何程であらうか。引力が物體を通過するところを見ると、地球は、譬へば隙のない障子ではなくて、その一つ／＼が小さい障子となる非常に澤山な非常に小さい球形の分子から出来て居り、その間を、ルサージュの微粒子は、自由に往來することが出来る、と考へなければならぬ。かうして、地球は隙間のない障子でないのみか、隙間の方が遙に廣い場所を占めてゐるから、水滲しでさへもない。この事を了解する爲めに、ラブラースが、引力は地球を通過する場合に、最大限で一千万分の一しか弱くならぬことを證明し、又その證明は完全であつたことを想ひ返さう。實際、もし引力が、その通過する物體に吸収されるならば、それは最早質量には比例しないで、大きな物體は小さい物體よりも、通過すべき厚さが大きいから、引力は、大きい物體については、比較的弱くなるであらう。それで、太陽が地球に及ぼす引力は、

太陽が月に及ぼす引力よりも比較的弱く、その爲めに、月の運動には、明に認められる不均等を生じたであらう。それ故、もしルサージュの理論を採用するとすれば、地球を構成してゐる球形の分子の總表面は、精々、地球の總表面の千萬分の一である、と結論しなければならぬ。

ダーウィン Darwin は、ルサージュの理論に於て、微粒子に全然弾性がないものと假定しなければ、それがニュートンの法則に正確に一致しないことを證明した。さうすると、單位の距離に在る單位の質量のものに及ぼす地球の引力は、そのものを構成する球形分子の總表面 S と、微粒子の速度 v と、この微粒子から出來てゐる媒質の密度 ρ の平方根とに、同時に比例し、生じた熱量は、 S と、密度 ρ と、速度 v の三乗とに、比例するであらう。しかし、この媒質内を動く物體が感ずる抵抗も、勘定に入れなければならぬ。事實、動く場合には、どうしても、或る衝突に向つてゆき、反對方向からの衝突からは遠ざからなければならぬから、静止の状態で起つた様な帳消しは、もはや行はれない。計算によると、この抵抗は S と ρ と v に比例する。處が私たちは、天體は何の抵抗も受けないかの様に運動することを知つてゐるから、精密な観測に依ると、媒質の抵抗の限界を定めることが出来る。

この抵抗は ρv と共に變り、引力は $\frac{1}{r^2}$ と共に變る。抵抗が引力の平方に對する比は、積 Sv の逆比であることになる。

それ故、積 Sv の最小限がわかる。私たちは既に、 S の最大限を（引力がその通過する物體に吸収されることから）知つてゐる。随つて、速度 v の最小限を得るが、それは、少くとも、光速度の $24 \cdot 10^{10}$ 倍に等しくなければ

ならない。

私たちは、これから、 ρ と、生じた熱量とを、出すことが出来る。この量は、一秒間に溫度を 10^8 度に昇すに足り、或る一定時間に、地球は、太陽が同時間内に輻射する熱——太陽が地球に送る熱量ではなく、太陽がすべての方向に發する熱量——の 10^8 倍を受けらるであらう。

地球が、こんな状態に永らく堪へられないことは、明である。

又、ダーウィンの意見と反對に、ルサージュの微粒子に、不完全であるが零でない様な弾性を與へても、同様に荒唐無稽な結果となるであらう。成る程この微粒子の活力は、全部熱には變らないが、生じた引力も同じく減じ、引力を生ずるにあづかるのは、熱となつた活力の部分だけであつて、前と同じ事に歸する。ヴィリアル virial の理論を適當に用ゐれば、これを説明することが出来る。

私たちは、このルサージュの理論を變形することも出来る。微粒子を取除いて、エーテルが、空間のあらゆる點から來る光波に依つて、あらゆる方向に動かされる、と考へよう。物質的な對象が光波をうけると、この波に依つて、丁度物質的彈丸で打たれたかの様に、マクスウェルバルトリ壓に依る機械的作用をうける。それ故、ここに云ふ波は、ルサージュの微粒子の役目を、勤めることが出来るであらう。例へば、トンマシナ氏 Tommasina などは、この事を許してゐる。

しかし、これに依つても難點は除かれない。傳播の速度は、光速度にしかなり得ず、又媒質の抵抗について、許すことの出来ない數字を得る様になる。その上、光が全部反射すれば、完全な弾性微粒子の假定と同じく、そ

の効果は零となる。引力がある爲めには、光は一部分吸収されなければならぬが、さうすれば、熱が生ずる計算は、普通のルサージュの理論でしたのと大體變りがなく、結果も同じく、無稽なことに變りはない。

一方、引力は、その通過する物體に依つて吸収されないか、或は殆ど吸収されないが、私たちの知つてゐる光は、さうでない。ニュートンの引力を生ずる様な光は、普通の光とは餘程ちがひ、例へば、非常に短い波長のものでなければならぬだらう。もし私たちの眼がこの光に感じたなら、空一面は太陽よりも一層輝いて見え、太陽は、そこだけ黒く浮き出した様に見えるだらう、さもないと、太陽は吾々を引く代りに、押すことにならうから。こんな譯で、引力を説明することの出来る光は、普通の光よりは、レンチェン Röntgen のX線に遙に近いものとなるであらう。

而も、X線ではまだ足りない。X線がいくら透過力がある様に見えても、地球全體を透すことは出来まい。それ故、普通のX線より遙に透過力のあるX'線を考へなければならぬだらう。随つて、このX'線のエネルギーの一部は、なくならなければならぬ、さもないと、引力は起らないであらう。もし、それが熱に變り莫大な熱量を生ずることを、避けようとするなら、それが、X'とも云ふべき第二次の線の形で、あらゆる方向に放射されるとしなければならぬ。そして、このX'は、X'線よりも尙遙に透過力のあるものでなければならぬまい、さもないと、今度はそれが、引力の現象をかき亂すであらうから。

これらが、ルサージュの理論を通用させようとする場合に達する複雑な假説である。

しかし今述べたところは、すべて力學の普通の法則を假定してゐる。もし新力學を許せば、事情はもつとよく

なるであらうか。第一に、相對性原理を維持することが出来るであらうか。先づ、ルサージュの理論の最初の形をとり、且つ、空間には物質的な微粒子が飛び廻つてゐる、としよう、もしこの微粒子が完全弾性體であるとすれば、その衝突の法則は、この相對性原理に一致するであらうが、その場合には、その影響が零となることを知つてゐる。それ故、この微粒子は弾性體でない、と假定しなければならず、さうすると、衝突の法則が相對性原理と一致する、と考へることは難かしい。その上矢張り多量の熱が生じ、而も媒質の抵抗は、認め得る程になるであらう。

もし微粒子をとり除いて、マクスウェルバルトリの假説に戻るとしても、この困難は減じないであらう。これは、ローレンツ自身が、一九〇〇年四月二十五日、アムステルダム科學學士院での、彼の論文で試みた所である。

エーテル内で、光波のために、あらゆる方向に動かされてゐる電子の系を考へよう。これらの中の一電子が、この光波にうたれると、振動し始めるであらう、その振動は、光の振動と同時的であらうが、もし電子が入射エネルギーの一部を吸収する場合には、位相の差があるかも知れない。實際それが、もしエネルギーを吸収するとすれば、それは、この電子を動かすものが、エーテルの振動であるといふことであり、随つて、電子は、エーテルより遅れなければならぬ。運動中の電子は、帶動電流と同視されるものであるから、すべての磁場、殊に光波そのものに依つて生じた磁場は、この電子に機械的作用を及ぼさなければならぬ。この作用は非常に弱く、その上週期的に符號を變へる。しかしながら、若し電子とエーテルとの振動に、位相の差があれば、平均的作用は零でない。平均作用はこの差に比例し、随つて、電子の吸収したエネルギーに比例する。

私は茲で、この細かい計算をすることは出来ないが、唯最後の結果は、任意な二電子間の引力であり、距離の自乗に逆比例し、この二電子の吸収するエネルギーに比例することを云つて置かう。

それ故、光の吸収のない所、随つて熱の發生のない所には、引力もある譯にはゆかない。そしてこの事が、ローレンツをして、その根本に於てはルサージューマクスウェルパートリ説と變りのないこの理論を、捨てさせたのである。もし彼がこの計算を終り迄續けて行つたなら、彼は尙一層驚いたであらう、彼は、地球の温度が、毎秒 10^{-10} 度昇らなければならぬことを、知つたであらうから。

四 結 論

私は、この新學説の出来るだけ完全な觀念を、簡単に述べようと骨折つた。私は、それがどうして生れたかを、説明しようとした、さもないと讀者は、この新説の大膽さに、驚いたかも知れないから。この新しい理論は、まだ證明はされない、それには未だ仲々である。それはたゞ、可能性の集まりの上に立つてゐるのであるが、頗る重大なものであつて、私たちは、これを輕蔑することは出来ない。多分新しい實驗が、これについて、結局どう考へなければならぬかを、教へるであらう。問題の核心は、カウフマンの實驗と、それを檢する爲めに試みられるだらう實驗とに、懸つてゐる。

最後に、私に一つの希望を述べさせて頂きたい。今後數年して、この理論が新しい試みをうけ、勝利を得たと假定しよう。すると、私たちの中等教育は、非常な危機に瀕することであらう。或る教師は恐らく、この新理論

を採り入れようとするであらう。新奇な事といふものは、それ程魅力のあるものであり、進歩してゐないと見られることは、それ程つらい事なのである。少くとも、彼等は、その要領を生徒に教へようと思ふであらう、そして、普通の力學をも教へない前に、彼等に、舊力學はもうおしまひになつた、とか、それは精々、ラブラースなど、昔の鈍馬にだけ用のあつたものだ、とか云ふであらう。そして生徒は、普通の力學にも親まないであらう。舊力學が近似的に過ぎない、と生徒に吹聴するのは、いゝ事であらうか。まことに結構ではある、が、それはもつと後になつてからのことである。彼等がその奥底を究めたとき、彼等がそれに依つてのみ考へる辭がついたとき、彼等がそれを忘れる虞れがなくなつた時、その時こそ、何の不都合もなく、彼等にその限界を教へることが出来るであらう。

彼等が生活してゆくのは、この普通の力學に依つてである。それが、彼等のいつまでも應用するだらう唯一のものである。どんなに自動車製造が進歩しても、私たちの車は、この力學が眞でなくなる様な速度には、決して達することはあるまい。新力學の方は、贅澤にすぎない。そして、私たちは、もはや必要を害する虞れがなくなつた時でなければ、贅澤を求めてはならないのである。

第四篇 天文學

第壹章 銀河と氣體論

こゝに私の述べようとする考察は、今迄、殆ど、天文學者の注意を惹かなかつたものであつて、ケルヴィン卿 Lord Kelvin の巧みな考の他には、殆ど引用すべきものがない。ケルヴィン卿の考は、私たちに新しい研究の分野を開いたものであるが、なほ私たちの引續き研究すべきものが残つてゐる。私とても、別に獨創的な結果を教へることは出来ない。私のなし得るのは、唯、こゝに現はれたが而も今日迄何人も解かうとしなかつた問題の、概略を述べることだけである。

如何に多くの現代の物理學者が、氣體の構造を考へたかは、周知の事柄である。氣體は、あらゆる方向に飛び交ひながら、大速度で運動してゐる無数の分子から出來てゐる。これらの分子は、恐らく離れてゐても互に作用し合ふが、この作用は、距離と共に急激に減少するから、それらの徑路は、殆ど直線的であり、唯、二つの分子が、互に非常に近くを通る場合にだけ、直線でなくなる。この場合には、相互の引力又は斥力が、分子を右か左かに外れさせる。これは、時として、衝突と呼ばれるものであるが、この衝突といふ語を、普通の意味にとつて

はならない。此處では、二つの分子が接觸する必要はないので、只、その相互の引力が感ぜられる迄に近づけば、それでよいのである。そして、それらの受ける曲り方の法則は、實際に衝突した場合と同様である。

この無数の塵埃の無秩序な衝突は、たゞ、解析家もしりごみしなければならぬ程、解き難い混沌を生ずるに過ぎない、と一應は思はれる。しかし、大数の法則、この偶然の最高法則が、私たちに助けてくれる。中途半端な無秩序に對しては、絶望する他ないが、極端な無秩序に於ては、この統計的法則が、精神に理解され得る様な、一種の平均秩序を再建する。氣體運動論を構成するものは、この平均秩序の研究である。それに依ると、分子の速度は、すべての方向に等しく分配されて居り、この速度の大きさは、一々の分子で違ひはするが、このちがひそのものは、一の法則、所謂マクスウールの法則に従ふ。この法則は、これ／＼の速度で動いてゐる分子が、どれだけあるかを教へる。氣體がこの法則から逸れれば、分子の相互衝突は、忽ち分子の速度の大きさと方向とを變更させ、急いで元に戻さうとする。物理學者はこの事から、氣體の實驗的の性質、例へばマリオット Mariotte の法則を、説明しようと努力し、可なりの成功を収めてゐる。

さて銀河を考へよう。私たちは矢張り其處でも、無数の塵埃を見るが、たゞこの塵埃の粒子は、もはや原子ではなくて星である。これらの粒子は、矢張り大速度で動き、互に離れてゐても作用し合ふが、この作用は、距離が大きいと非常に弱く、又それらの行路は直線である。しかし時には、それらの中の二つが、丁度木星のあまり近くを通つた彗星の様に、その路を曲げられる程相近づくことも、あるかも知れない。一言に云ふと、原子が私たちに見えると同じ位に私たちの太陽を見る様な巨人の眼には、銀河もたゞ、ガス體の泡としか見えないであらう。

これが、ケルヴィン卿の主要な考であつた。この比較から、どういふ結論を引き出す事が出来るであらうか。それは、どの程度迄正確であらうか。これが私たちの、共に研究しようとするところである。しかし、或る定つた結論に達する前に、問題を豫め憶測することなしに、氣體運動論は天文學者が盲目的に従ふべきものではないが、而も彼に有益な啓示を供することの出来る模型である事を述べよう。今迄天體力學は、唯太陽系或は二重星の二三の系だけを研究してゐた。銀河の示す集合や、星團や、分解性の星雲やに對しては、只混沌たる以外に、知ることが出来ない爲めに、手を引いてゐた。併し、銀河は氣體以上に複雑なものではなく、氣體に應用される確率の計算に基く統計的な方法は、銀河にも矢張り應用せられる。先づ何よりも、この二つの場合の異同を説明するのが、必要である。

ケルヴィン卿は、この手段で、銀河の大きさを定めようとした。それには、望遠鏡で見える星の数を數へるのであるが、私たちに見える星の他に、まだ見えない星があるか否かは確でないから、隨つて、かうして測つたものは、銀河の大きさではなくて、私たちの器械の限界にすぎまい。しかし、この新説は、又別の富源をも提供する。實際私たちは、私たちに最も近い星の運動を知つて居り、その速度の大きさと方向とをも、知ることが出来る。若し上述の考が正しいならば、これらの速度は、マクスウールの法則に従はなければならない。そしてその平均値から、謂はばこの架空的な氣體の温度に相應するものを、知る事が出来るであらう。しかし、この温度そのものも、私たちの氣體の泡の大きさに依るのである。實際、空間に放置された氣體は、その要素がニュートン

の法則に従つて相引くとすれば、どうなるであらうか。それは球形となり、其の上、引力によつて、密度は中心に近い程大きくなり、中心に引かれる外側の部分の重さの爲めに、壓力も表面から中心に到るに従つて増し、最後に、その温度も中心に行く程増加するであらう。温度と壓力とは、私たちの大氣層に於てと同じく、斷熱的と呼ばれる法則で結びついてゐる。表面に於ては、壓力は零となり、絶對温度即ち分子の速度も、それと同じく零となるであらう。

こゝで疑問が起る。私は斷熱的法則のことを述べたが、この法則は、氣體の二つの比熱の比に依るから、すべての氣體について同一ではない。空氣又は類似の氣體については、この比は一・四二である。しかし、銀河を空氣と同一視してよいであらうか。勿論いけない。それは水銀蒸氣の様に、アルゴンの様に、ヘリウムの様に、一原子的氣體と見なければ、即ち比熱の比は一・六六に等しいとしなければ、ならないだらう。して又實際に、例へば、太陽系はこの分子の一つであるが、その惑星は極く僅かの役目を勤めるのみで、太陽だけが勘定にはいり、随つてこの分子は、明に一原子的である。又もし二重星をとつたにしても、その附近に来る他の星の作用は、その二構成體の相對的軌道を亂すことが出来ない前に、その系の共通な運動を變へることが、十分に認められる様になる、一言に云へば、二重星は、分割されない原子として、行動するであらう。

とに角、この氣體球の中心に於ける壓力、随つて温度は、球が大きくなればなる程大きくなるが、それは、すべての上層の重さに依つて、壓力が増すからである。私たちは、地球がほど銀河の中心にある、と假定することが出来、そして、星の平均固有運動を觀測すれば、この氣體球の中心温度に相應するものを知り、又その半徑

を定めることが出来るであらう。

私たちは次の様に考へて、大體の結果を知ることが出来る。極く簡単に、銀河は球形であり、密度は一樣に分布されてゐる、と假定しよう。すると、星は同中心の楕圓を描く、といふ事になる。若しその速度が、表面では零になるものと假定すれば、活力の方程式から、中心に於けるその速度を、計算することが出来る。かうしてこの速度は、この球の半徑と、その密度の平方根とに、比例することを知る。若しその質量が太陽の質量に、その半徑が地球軌道の半徑に、等しいとすれば、その速度は、(容易に知られる様に)軌道上の地球の速度となるであらう。しかし、茲に假定した場合は、太陽の質量は、百萬倍大きい半徑——この半徑は、一等近い星と星との間の距離である——の球に分布されなければならない。それ故、密度は 10^8 倍小さい。處が、速度は同じ程度であるから、半徑は 10^8 倍大きく、即ち、最も近い星と星との距離の千倍でなければならず、銀河には十億の星がある、といふことになるであらう。

しかし、この假説は實際とは餘程離れてゐる、といふ人もあるであらう。先づ、銀河は球形ではないし、——この點については、後に述べよう——次に、氣體運動論は、一樣な球の假定とは兩立しない。しかし、この理論に正確に一致する計算をすれば、恐らく異つた結果を得るであらうが、その大きさの程度に於ては、差異があるまい。ところで、この様な問題では、既知量が不確かであるから、私たちの求める所も、たゞ大きさの程度に過ぎない。

茲に、注目すべき事がある。今、近似的な計算で求めたケルヴィン卿の結果は、觀測家がその望遠鏡を以つて

なし遂げた所と、よく一致する。しかし、この事から、今一つ他の問題を解くことも出来る。輝く爲めに私たちに見える星があるが、その他に、空間中に廻轉しながら、永い間その存在を認められない様な、暗黒星はないものであらうか。處が、ケルヴィン卿の方法で與へられるものは、暗黒星をも含めた全部の星數であらう。その數字が、望遠鏡に依つて得られた數字と一致するのであるから、それは、暗黒星は存在しない、少くとも輝いたもの程に多くはない、といふことである。

話を進める前に、私たちは、この問題を、異つた方面から調べて見なければならぬ。この様に組立てられた銀河は、果してほんたうの、氣體の寫しであるだらうか。既に知られてゐる様に、クルークス Crookes は、物質の第四態といふ考を唱へ初めた。即ち、あまり稀薄になつた氣體は、もはやほんたうの氣體ではなく、發光物質といふものになる。銀河は、その密度から見ても、氣體の寫しであらうか、それとも、發光物質の寫しであらうか。これに答へるものは、所謂自由行路 *libre parcours* なるものについての考察であらう。

氣體分子の行路は、次ぎ／＼の衝突に相應する非常に小さい弧を結びつけた線分から成つてゐる、と見ることが出来る。この各線分の長さが、所謂自由行路である。勿論この長さは、すべての線分、すべての分子について、同じではない。しかし私たちは、その平均をとることが出来る。これが所謂平均行路である。これは、氣體の密度が小さい程、大きい。物質は、若しこの平均行路が、その氣體の容器の大きさよりも大きく、分子が、容器の端から端迄、衝突することなしに行くことが出来る様な場合には、發光物質となり、その反對の場合には、氣體として止まつてゐる。この事から、同じ流體でも、小さい容器では、發光物質となり、大きい容器では、氣體に

なり得ることとなる。クルークス管に於て、管が大きい程、一層高度の眞空にしなければならぬのも、恐らくこの爲めであらう。

それでは、銀河についてはどうなるか。それは、密度の非常に小さい、しかし廣さの頗る大きい、氣體の一團である。一つの星は、衝突をうけずに、即ち、眼につく程その道を曲げられる迄十分他の星に近づくことなしに、それを通り過ぎることが出来るであらうか。十分近くとは、どういふ意味であらうか。それは當然或る程度迄任意ではあるが、これを太陽と海王星との距離としよう。これは 10^{10} 度の逸れを現はすのである。そこで、各星がこの半徑の保護球で包まれてゐるものとして、これらの球の間に、一つの直線を引くことが出来るであらうか。銀河の星の平均距離では、これらの球の半徑は、略々一秒の十分の一の角度に眺められ、星の數は十億ある。天球に、半徑十分の一の小さい圓を十億置けば、これらの圓は、天球を何重にも覆ふことが出来るであらうか。仲々、それどころではない。それは備に、天球の千分の十六を覆ふに過ぎない。かうして銀河は、氣體の寫しではなく、クルークスの發光物質の寫しである。しかしながら、幸ひ私たちの前の結論は、あまり精密なものではなかつたのであるから、目に立つ程、變更する必要はないのである。

しかし、そこに別の難點がある。銀河は球形ではないのに、私たちは今迄、それが空間に孤立した氣體の平衡な形であるために、球形として考へて來た。その代りに、球形をして居て、今迄述べた事柄が一層よくあてはまる星團がある。ハーンセル *Herschel* は既に、それらの最も著しい現象を説明しようとした。彼は、その星團の星は一樣に分布され、星團は等質球狀である、と假定した。かうすれば、各星は楕圓を畫き、總ての軌道は、同

じ時間に、一周され、この星團の一週期の後には、その最初の形状に戻り、この形状は安定であらう。不幸にして、星團は等質とは見なすことは出来ず、私たちは、中心が密集してゐることを観測する。尤も、球が等質である場合にも、中心は厚みが大い爲め、密集してゐる様に見えるけれども、この點に重きを置くことは出来なからう。それ故、星團は寧ろ、斷熱的平衡にあつて球形——これが氣體團の平衡な形であるから——をしてゐる氣體に、比較することが出来る。

しかし、諸君はかういふであらう。この星團は、恐らく銀河の一部をなすもので、それより遙に小さいから、遙かに密ではあるが寧ろ幾分發光物質に似たものであらう、而も氣體は、無數の分子の衝突に依つてでなければ、斷熱的平衡に達しないではないか、と。これを調停する手段は、恐らく存在する。星團の星は、丁度表面に達した時に速度が零となるだけのエネルギーを持つてゐる、と假定すれば、その場合には、衝突なしに星團を通過しても、表面に達すると逆戻りをし、再び星團を通過するであらう。幾回も通過した後、遂には、衝突によつて方向を曲げられる。この様な状態では、尙、物質は氣體と見られ得るであらう。若し偶然に、この星團の中に、更に大きな速度の星があつたとすると、とうの昔にこの星團を飛び出して、もう二度とは戻らない。こんな譯で、既知の星團を研究して、密度の法則を知らうとし、又、それが氣體の斷熱的法則か否かをしらべるのは、興味あることであらう。

しかし、銀河に戻らう。それは球形ではなく、寧ろ扁平な圓板と考へられる。さうすれば、速度なしに表面から出發しても、圓板の中心に近い表面から出たか、或は圓板の端から出たかに依つて、異つた速度で中心に達す

ることは、明である。後の場合の方が、速度は著しく速いであらう。

處が、今迄私たちは、星の固有速度、即ち私たちの観測する速度は、それと同じ質量が得ると思はれる速度と同じ位のものでなければならぬとして來た。こゝに、困難が伴つて來る。私たちは、前に銀河の大きさの値を與へた、そして、それを観測に依る固有運動の速度から出したのであつたが、これは、地球の軌道上の速度と、同じ階級の大きさである。しかし、かうして測つた大きさは、何であらうか。それは圓板の厚さであらうか。半徑であらうか。恐らく、それは、その中間のものである。しかしそれでは、厚さそのもの、或は圓板の半徑については、何事をいふことが出来るであらうか。これを計算するには、既知の材料が足りないから、私は只、この固有運動の深い吟味を基として、少くとも近似的な計算をすることが出来るといふことを、示すに止めておかう。

こゝで、私たちは二つの假説に出會ふ。一つは、銀河の星の運動速度は、大體銀河平面に平行し、尙又、この平面に平行なすべての方向に、一樣に分布せられてゐる、といふのである。もしさうだとすれば、固有運動の観測に依つて、銀河に平行な成分の大きいことが、知られる筈である。私は、この見地から何か組織的な吟味がされたか否かを知らないから、之は尙研究しなければならぬ。その上、この様な平衡は一時的なものに過ぎまい。といふのは、分子即ち星は、衝突の結果、銀河に垂直な方向にも、可なり速度を得る様になり、遂にはその平面を飛び出し、この系は、孤立した氣體團の唯一の平衡形たる、球形をなす様になるであらう。

或は又、この系は、全體として、共通な回轉運動をしてゐる。そして、これが地球の様に、木星の様に、すべ

ての回轉體の様に、扁平な所以である。唯、この扁平さが可なり大きいから、この回轉は速くなければならない。速いといふことは疑ひないが、先づ第一に、この速いといふ語の意味を知らなければならぬ。銀河の密度は、太陽の密度よりも、 10^{10} 倍小さい。それ故銀河には、扁平といふ點から云へば、太陽の回轉速度の $\frac{1}{10}$ 倍小さい速度が相當し、地球速度の 10^{12} 倍小さい速度、即ち百年について三十分の一秒の弧は、非常に速い回轉であり、安定な平衡をする爲めには、殆ど速すぎる程のものである。

この假説では、觀測し得る固有運動は、一樣に分布される様に見え、もはや、銀河平面に平行な成分の過重はなくなるであらう。私たちも、この回轉系の一部分であるから、この固有運動は、回轉そのものについては、何事をも教へまい。もし渦狀星雲が、私たちのとは別な銀河であるとすれば、この回轉には伴はれないから、私たちは、その固有運動を研究することが出来よう。これらの星雲が、非常に速いことは事實である。もし星雲が銀河程の大きさをもち、見かけの半徑が、例へば二十秒とすると、その距離は、銀河半徑の一萬倍である。

しかし、この事は何でもない。といふのは、私たちがそれに依つて知らうとするのは、私たちの系の移動についてではなく、その回轉についてだからである。恒星の見かけの運動からは、その距離の非常に大きいにも係らず、地球の日々の回轉を知ることが出来る。不幸にして、銀河のなし得る回轉は、相對的にはそんなに速いのであるが、絶對的に見れば甚だ遅く、且つ、星雲に對してはあまり正確ではない。それ故、何事かを知らうとするには、數千年も觀測しなければならぬだらう。

とに角、この第二の假説では、銀河の形は、終局的な平衡の形であらう。

茲に、恐らく一層眞實らしい第三の假説があるから、私はこれ以上、この兩假説の比較的な價値を論じまい。私たちは、非分解性星雲の中に、數種を區別することが出来る。オリオン星雲の様な不規則星雲、ガス球環狀星雲、渦狀星雲。初めの二種のスペクトルは、不連続であることがわかつた。それ故これらの星雲は、星から出来てゐるのではない。その上、その天空上の分布は、銀河に關係ある様に見え、或はそれから遠ざかり、或は近づかうとする傾向を持つて居るから、隨つて、銀河の一部分をなすのである。之に對して、渦狀星雲は、一般に銀河とは別なものと考へられてゐる。私たちは、それが銀河と同じく、澤山の星から出来て居り、一言に云へば、私たちの銀河と非常に離れた、他の銀河であることを認めてゐる。ストラトノフ Stratonoff の最近の研究に依ると、銀河自身も、一の渦狀星雲と見られようとしてゐる。そしてこれが、私の述べようとした第三の假説である。

渦狀星雲の現はす形、偶然だと考へるにはあまりに規則的で、あまりに一定なあの形を、どう説明すべきであらうか。先づ第一、これらの形の一つを眺めさへすれば、この塊が回轉してゐることがわかり、その回轉の方向さへも知ることが出来る。すべての渦の徑は、同じ方向に曲つてゐるが、これは明に、軸よりも後れた突出部であつて、これが回轉の方向を定める。しかし、それだけではない。これらの星雲が、靜止した氣體に、或は一様な回轉の状態で相對的平衡にある氣體にさへ、同一視され得ないことは明である。それは、内部的の流れに支配されて不變な運動状態にある氣體に、比較されなければならぬ。

例へば、中心の核の回轉が速い（諸君はこの言葉の意味を知つてゐる）と、即ち安定な平衡を保つためには早

過ぎると、假定しよう。すると赤道では、遠心力が引力に打ち勝ち、星は赤道から外に逃れようとして、外に向つた流れを生ずる。しかし離れるに随つて、その回轉能率が一定であり、動徑が増加するから、その角速度は減少する。突出部が後れる様に見えるのは、その爲めである。

かういふ風に見ると、眞に不變な運動といふものは、存在しないであらう。中心の核は絶えずその物質を失ひ、この物質は逃げ去つて二度と歸らず、次第に消失するであらう。しかし私たちは、この假説を修正することも出来る。星は遠ざかるに随ひ、その速度を失つて、遂には止まつてしまふ。そこで、引力が再びそれを捕へ、核の方に引き戻す。それ故、求心的の流れが生ずるであらう。もし戦場で旋回運動を行ふ軍隊と比較するなら、求心的の流れを第一列、遠心的の流れを第二列と見なければならぬ。實際、遠心力は、この塊の中心層が外部層に及ぼす引力で、うち消されなければならない。

その上、ある時間経てば、不變な流れが出来上がる。この群が彎曲すると、突出部が軸に及ぼす引力は、軸を遅らせようとし、この突出部に及ぼす軸の引力は、突出部を速めようとし、遂に、すべての徑は、一樣な速度で回轉する様になる。しかも私たちは、核の回轉は徑のそれよりも速い、とすることが出来る。

尙一つ問題がある。これら求心遠心の群は、何故、もつと一面に廣がらないで、徑に集まらうとするのであるか。何故、これらの徑が、規則的に分布されてゐるのであるか。この群がかたまるのは、前から在る群が、核からその附近に来る星を、引きつけるからである。少しでも不均等が出来るや否や、それは、この爲めに、一層強くならうとする。

何故、これらの徑は、規則的に分布してゐるか、といふのは、一層微妙な問題である。回轉がないとし、すべての星は、直交する二平面内に、この二平面について對稱的に、分布してゐると假定しよう。對稱であるから、星がこれらの平面から外に出るとか、この對稱が變はるとか云ふ理由はない。だから、この形状は平衡を與へるが、しかも、それは不安定な平衡であらう。

これに對して、もし回轉があれば、互に等しく九十度に交はる四つの曲つた徑をもつ類似の平衡形となるであらう。そして、もし速度が十分速ければ、この平衡は、安定であることも出来よう。

私は、これ以上詳細に述べることが出来ない。私は、これらの渦狀が、何時かは氣體論を參考として、唯、引力の法則と統計的の考へとだけで、説明せられることが出来るであらう、といふことを諸君に豫知させるだけで、十分である。

内部の流れについて述べた事からして、固有運動の集合を組織的に論ずることの、興味あることが知られる。これは、百年も後になつて、天圖の第二版が出来た時に、私たちの今作りつゝある第一版と比較して、初めて企て得ることであらう。

しかし私は、最後に一つの問題、銀河又は星雲の年齢の問題に、諸君の注意を喚びたいと思ふ。もし私たちの知り得たと信ずる所が、確であるとすれば、この年齢についても、大體のことを知り得ることであらう。氣體をその模型とするこの種の統計的平衡は、非常に多數の衝突に依つてでなければ、成立することが出来ない。もしこの衝突が少數である時は、平衡を得るに、非常に長い時間を要するであらう。若し銀河（或は少くともその一

部をなす星團)が、若しくは又星雲が、真にこの平衡に達してゐるとすれば、それは、これらが非常に老齡であるといふ事であり、私たちは、その年齢の最小限を知ることが出来よう。同様に私たちは、この平衡が決定的のものでなく、永久に続くことは出来まいといふことから、その最大限をも、知り得るでもあらう。渦状星雲は、不変な運動をしてゐる氣體と、同一視されることも出来ようが、運動する氣體は、粘性をもつ爲め、その速度は、遂にはなくなつてしまふ。星雲の場合には、この粘性に相應する(そして分子の衝突數に依存する)ものは、非常に小さく、實際の流れが、非常に長い間続くであらう。しかも、永久に続くことは出来ないから、随つて、わが銀河は、永遠に生きること出来なければ、無限に年老いることも出来まい。

而も、そのみではない。地球を考へると、大氣の表面では、溫度は無限小でなければならず、分子の速度は零に近い。しかし、それは平均速度のことに過ぎない。衝突の結果、或る分子は、(極く稀れにはあらうが)巨大な速度を得ることもあらう。その場合に、分子は大氣の外に飛び出し、再び歸ることはないであらう。それ故、大氣はかうして、極めて徐々に減つてゆく。銀河も矢張り同じ具合で、次第々々に、星を失つて行くであらう。そして、これが同じく、その永續を制限するのである。

さて、もしかういふ風に、銀河の年齢を計算すれば、非常に大きい數字を得ることは確かである。併し、こゝに一つの困難がある。或る物理學者は、他の考察に基く計算から、諸太陽は略ぼ五千萬年の短期間存在するに過ぎない、と見つもつてゐる。而も、私たちの最小値も、それよりは遙に大きいであらう。私たちは、銀河の進化は、まだ物質が暗黒であつた時分から初まつた、と信じなければならぬのであらうか。しかし、それを組立て

てゐる星が、どうしてそんな短い期間に、一時に成熟期に達したであらうか。或は、それらは順次に成熟期に達しなければならぬのであらうか、そして、私たちに見えるのは、光の消え失せた或は今後輝くべき星に比べて、ほんの一小部分に過ぎないのであらうか。しかし、それは前に、暗黒物質は備しかないと云つたことと、どうして兩立し得るであらうか。私たちは、この二つの假説の、一方を捨てなければならぬのか。さうとすれば、それはどちらをであらうか。私は、これを解くとは云はなひ、唯、難點を述べるに止めて置く。それ故、私は大きな疑問符を以つて筆を擱かう。その解決は遙に遠いとはいひながら、問題を呈出することも亦、甚だ興味深いことである。

第貳章 フランスの測地術

地球の形と、大きさとを知るのは、如何なる利益があるか、といふことは、誰でも知つてゐる。しかし、私たちが要求する精密さについては、或る人々は、恐らく驚くことであらう。それは、無用な贅澤であらうか。測地學者がその爲めに費す努力は、何に役立つのであらうか。

もしこんな問題を、國會議員に尋ねたら、彼はかう答へるであらうと思ふ。「余は、測地學は最も有用な科學の一つ、と考へざるを得ない、何故なら、それは、科學の中で、一等費用のかゝるものであるから。」私は諸君に對して、今少し精確な答へをしようと思ふ。

技術的の大事業といふものは、平和的のものと軍事的のものとを問はず、澤山の盲探しや、當はずれや、無用な失費やをしなければ、企てられない。この様な研究は、良い地圖があつて、初めて出来ることである。しかし、地圖といふものも、もしそれを、確かな骨組によらずに作らうとすれば、それは、何の價値もないもの、唯の空想に過ぎまい。それは、骨格を抜きとつた人間の身體を、眞直に立たせようとすると、同様である。

處で、この骨組を供するものは、測地學的の測量である。それ故、測地學なくしては、良い地圖はなく、良い地圖なくしては、國家的な大事業もない。

かういふ理由で、その費用の多いことを、辯護するには十分であらう。しかしこれは、實務的な人々を説きふ

せるに、相應しい理由である。茲に説かうとするのは、それについてではない。尙一層高尚な、又、全體から見ても一層重要な、理由があるのである。

それ故私たちは、この問題を、別の形で現はさう。測地學は、自然を更によく知る助けとなり得るか。それは、私たちに、自然の統一と調和とを、理解させ得るか。孤立した事實といふものは、實際、價値の少ないものである。科學の勝利は、それが更に新しい勝利を準備するのでなければ、價値のないものである。

だから私たちが、地球の楕圓體の上に、小さい瘤を見つけ出す様なことがあつたとしても、この発見は、それだけでは、大した興味はなからう。之に反して、若しこの瘤の原因を探ねた爲めに、新しい祕密を開く望みが生じた時には、それは貴いものとなるであらう。

さて、十八世紀に、モーペルチュイ Maupertuis とラコンダミヌ Ja Condamine とが、様々の土地を踏査したのは、單に地球の形を知る爲めではなかつた、それは、宇宙全體の組織に關してゐたのである。

もし、地球が扁平なものであれば、ニュートンが、それと共に引力の學説が、又近代の全天體力學が、勝利を得るのであつた。

しかし今日、ニュートン派の勝利の後、一世紀半の今日になつては、測地學は、もはや私たちに何物をも教へない、と考へられるであらうか。

私たちは、地球の内部に、何かあるかを知らない。鑛山の坑孔や地質調査で、一、二キロメートルの厚さ、即ち全體の千分の一位の層を、知ることは出来たが、その下には、何かがあるのであらうか。

ジュール・ヴェルヌ Jules Verne の夢想した様々の珍らしい旅行の中で、私たちが最も未踏の地に連れてゆくのは、恐らく地球中心への旅であらう。

しかし、私たちの達し得られぬこれらの深い岩石も、遠くその引力を及ぼして、振子にはたらく、地球の球形を變形させる。だから測地學は、謂はば遠くからそれを量り、その分布について教へることが出来る。かうして、それは私たちをして、ジュール・ヴェルヌが唯想像に依つて示したところの、この神祕境を、實際に見せしめるであらう。

これは空しい夢ではない。フェイ Faÿe 氏はすべての計算を比較して、驚くべき結果に達した。大洋の下には、その底に、非常に密度の大きな岩石があり、之に反して、大陸の下は空虚である。

新しい測定は、恐らくこの結論を、その細かい點については、變更するでもあらう。

しかしいづれにしても、この尊敬すべき大家は、どういふ方面を研究すべきであるか、又地球内部の構造を知りたがつてゐる地質學者に、又この遊星の過去と起源とについて思索しようとする思想家にさへ、測地學が何を教へることが出来るかを示した。

さて私は、この章を、何故フランスの測地學と題したのであるか。それは、いづれの國でも、この科學は、恐らく他のすべての學問よりも、國家的な特色をもつてゐる、といふことである。この理由は容易に知られる。

競争といふことは、明に存在する。學問上の競争は、常に、少くとも殆ど常に、禮讓を重んずるが、いづれにしても、競争のあることは、有益であるから、必要である。

さて測地學の様な、永い努力と、澤山の共働者との必要な、事業に於ては、個々の人々は、嫌應なしに看過される。誰も、これは自分のした仕事だ、といふ権利はない。そこで、競争の生ずるのは、個人間ではなくて、國家間に於てである。

私たちはかうして、フランスはどんな貢獻をしたか、を尋ねることになるが、私は、私たちがこれについて、自慢しても差支へない、と思つてゐる。

十八世紀の初期に、地球は、引力の理論が要求する通り、扁平である、と信ずるニュートン派と、不正確な測定の爲めに誤つて、地球は細長い、と信じたカシニ Cassini との間に、長い論争が起つた。この問題に收りをつけるのは、唯直接の測量に依るより他なかつた。この當時にあつては巨人的事業であつたこの仕事を企てたのは、わが科學學士院であつた。

モーベルチュイとクレュロ Clairaut とが、極地の經度をはかる一方、ブーゲ Bouguer とラコンダミヌとは、アンデス山脈の方に向つた。そこは當時スペインに屬し、今日エクアドル共和國となつてゐるところである。わが派遣員たちは、非常な困難をなめた。旅行は、今日の様に容易ではなかつた。

勿論モーベルチュイの仕事した國は、無人の土地ではない。彼はラボニー人の中で、北極のほんたうの航海者の知らない、甘い心の満足さへ味はつた、ともいふ。其處は、今日、毎年夏になると、氣持のよい汽船が、旅行者や若いイギリスの婦人やの群を、運んでゆく所に、稍近い地方であつた。しかし當時は、クックの旅行會社もなかつた。モーベルチュイは、北極を探險したものと、眞面目に信じてゐたのである。

恐らく、彼も、全然誤つてゐたのではなかつた。ロシア人やスエーデン人は、今日眞の氷山のあるシュピッツベルゲンで、同じ測量をしてゐる。しかし、彼等は全く異つた手段をもち、時代の隔りは、緯度の差をうち消してしまふ。

世人に知られてゐるモーベルチュイは、アカキア博士 Docteur Akakia の爪でひどく傷つけられてゐる。この學者は、不幸にも、當時精神界の王であつたヴォルテール Voltaire の、御機嫌を損じたのであつた。初め彼は、ヴォルテールに、無闇と賞められた。しかし、王の賞讃は、その不興と同様に恐ろしい。それは、翌日になると、恐るべきものと變るからである。ヴォルテール自身も、幾らか、その經驗はもつてゐた。

ヴォルテールは、彼を、わが愛する思索の師、北地の侯、世界とカシニとの尊いうちひしぎ手、と呼び、サー、アイザック・モーベルチュイ Sir Isaac Maupertuis とまで、賞め上げた。彼はモーベルチュイに書き送つた、「私が貴君に並べ得るものは、プロシヤの王しかありません。彼は幾何學者でないだけが、貴君に劣つてゐます。」しかし、やがて光景は一變する。彼はもう、彼を、昔のアルゴノウト Argonaute (アルゴノウト船に乗り、金羊毛をとり) の様に崇めることもなく、彼の事業を観るために、神々の神託をオリムプの山から下さうとも云はず、彼を癡狂院に幽閉する。彼はもはや、モーベルチュイの崇高な精神に就ては語らず、僅かな科學と多くの無稽とで二重にされた、彼の横暴傲慢について語る。

私は、この勇壯にして滑稽な争を、述べようとは思はないが、ヴォルテールの次の二句について、少し考へることを許して頂きたい。

彼の「中庸について」 Discours sur la Modération. (これは、賞讃や批評やの中庸について、云つてゐるのではない) の中で、この詩人は書いてゐる。

あなたは、勞苦に満ちた土地で確めた、

ニュートンが、居ながら知つた事柄を。

Vous avez confirmé dans des lieux pleins d'ennui

Ce que Newton connut sans sortir de chez lui.

この(以前の大袈裟な讃歌に代つた)二句は、甚だ不當であり、疑ひもなく、ヴォルテール自身も、それを知らぬ程愚ではなかつた。

當時、人々は、居ながらに知ることの出来る発見だけを、尊重した。

今日では、尊敬されることの少いのは、寧ろ理論である。しかし、これは科學の目的を誤解してゐる。

自然は氣紛れに従ふか、或は、調和がそれを支配してゐるか。これが問題である。この調和を啓示する時、科學は美であり、又その故にこそ、學ぶべき價值がある。しかし、この啓示は、理論と實驗との一致以外に、どこから來ることが出来ようか。それ故、私たちの目的は、この一致があるか、否か、を探ねることである。それならば、私たちの比較すべき、この二つのものは、兩者共に、缺くことの出来ないものである。一方の爲めに、他方を無視するのは、愚の至りである。孤立するとき、理論は空虚、實驗は近視。二つながら、效用なく、興味な

それ故モーベルシュイも、光榮の分配に與る權利がある。勿論それは、神的な靈感をうけたニュートンに、或は、彼の共働者クレネロにさへ、同じくはなからう。しかし、彼の仕事も必要であつた以上、それを蔑視することは出来ない。もし、十七世紀に英國の下位に立つたフランスが、十八世紀に、それに報復し得たとするならば、それは、只クレネロ、ダランベール d'Alembert、ラプラスの天才のみに負ふのではなく、モーベルシュイや、ラコンダミヌヤの、永い耐忍にも、同じく負ふところがあるのである。

次には、測地學の第二英雄期、ともいふべき時代となる。フランス國內は分裂し、全歐洲は、夫に對して、武器をとつた。フランスの全力は、この大亂に吸収されたに相違ない、と思はれるかも知れない。而も、事實は之と違つて、尙、科學の爲めに盡す人々は、存在してゐたのである。當時の人々は、如何なる企てにもたぢろかない、彼等は信仰の人であつた。

ドランプル Delambre とメシヤン Méchain とは、ダンケルク Dunkerque からバルセロナ Barcelone に至る弧を測ることとなつた。今度は、ラボニーにもベルーにも行かなかつた。敵の艦隊が、その道を閉ざしたであらうからである。しかし、この探險は、前程遠くはなかつたが、その時期が悪いため、前同様に障害があり、危険でさへもあつた。

フランス國內でも、ドランプルは、疑ひ深い市町村吏の悪意と、戦はなければならなかつた。誰でも知つてゐる通り、遠くから見え、正確に照準出来る鐘樓は、屢々測量者の目標となる。しかしドランプルの行つた地方に

は、この鐘樓が残つて居なかつた。過激共和黨員の見すばらしい住居の上に傲然と聳え立つた鐘樓を打ち倒させて、鼻うごめかした此の地の獨裁官が、誰であつたか私は知らない。

そこで人々は、板の三角塔を建て、見易くする爲めに、それを白布で覆うた。所が、これが、意外な意味にとられてしまつた。白布！やつと自由を得た吾々の上に、反革命の標幟を掲げようとするのは、何處の馬鹿者だ。それで止むなく、白布に、赤と青とで、縁どりをしなければならなかつたのである。

メシヤンは、スペインで働いた。種類は違つても、その困難に變りはなかつた。スペイン人は、喧嘩好きであつた。その地方には、鐘樓はあつたが、それに向つて、不思議な、多分悪魔的な、器械を据ゑつけるのは、神聖をけがすものではないか。革命黨は、スペインの同盟者であつた、が、それは、多少異端者の疑ひある同盟者であつた。

「絶えず、人々は私を、殺すぞといつて、脅迫した」とメシヤンは書いてゐる。幸ひ、牧師の訓誡と司教の教書とのおかげで、この慍悍なスペイン人たちも、たゞ脅すだけで我慢した。

數年後に、メシヤンは、第二回の踏査を行つた。彼はその子午線を、バルセロナからバレア島迄、延ばさうとした。これが、遠く離れた島の高所に設けた信號を觀測して、廣い海峡を、三角測量で横斷しようとした、最初であつた。この企ては、周到に計畫され、準備されたにも係らず失敗した。このフランスの學者は、あらゆる困難に出遇つたが、彼はそれを、手紙の中で、痛ましくも訴へてゐる。「地獄」と恐らく幾らか誇張してではあるが、彼は書いてゐる。「地獄と、それが地上に吐き出すあらゆる禍、内亂、戦争、ペスト、陰謀、が、私に對し

て、荒れ狂つてゐる。」

事實を云へば、彼はその共働者の中に、善意よりは傲慢な頑固を、より多く見出し、又幾千の出来事が、彼の仕事を、遅らしたのであつた。ベストその物は、何でもなかつたが、ベストに對する恐怖が、恐ろしかつた。すべての島々は、互にその隣島を疑ひ合ひ、傳染することを恐れてゐた。メシヤンは、數週間かゝつて、やつと、すべての紙を酢に浸す、といふ條件の下に、上陸の許可を受けた。これが、當時の殺南法であつたのである。

絶望の極、病氣となり、その召還を求めながら、彼は死んだ。

この未完成の事業を續け、それに立派な結末をつける名譽を得たものは、アラゴ *Arago* と *Biot* とであつた。

スペイン政府の支持と、澤山の司教の保護と、特に、有名な山賊の首領の保護とに依つて、仕事は速に捗つた。それは幸に終つた。ピオがフランスに入ると、革命が勃發した。

それは全スペインが、その獨立の爲めに、フランスに對して武器をとつた時であつた。何の爲めにあのフランス人は、山に登つて信號をしたか、勿論、フランスの軍隊を、呼び入れる爲めだつたに相違ない。アラゴは囚人となつて、漸く群集から逃れることが出来た。獄中の彼は、唯彼自身の死刑執行の記事を、スペインの新聞で讀む外に、慰めもなかつた。その時分のスペイン新聞は、時々、先廻りをした記事を、掲げたものである。彼が勇ましくキリスト教徒らしい死を遂げたことを知つたのが、せめてもの、彼の心やりであつた。

牢獄も安全ではなくなつたので、彼は止むなく脱獄して、アルゼリアに着いた。其處から彼は、アルゼリア船

でマルセイユに向つた。處が、船はスペインの海賊に捕へられて、彼は再びスペインに連れ戻され、罪人の間を、最も悲惨な状態で、牢獄から牢獄へと引き廻はされた。

アルゼリア市の主權者も、唯その人民と旅客とだけの事なら、黙つてゐたのであらうが、その船には、アフリカの王がナポレオンに獻じた二匹の獅子が居たため、スペインを脅して、開戦しようとした。

船も囚人も、解放された。船中には天文學者が居るのであるから、船の位置をあやまる筈はなかつたのであるが、この天文學者は、船酔に苦しんでゐて、マルセイユに向つたアルゼリアの水夫は、ブージに着いた。アラゴは、其處から、幾多の危険の中を、カピリアを横斷して、徒歩でアルゼリアに行つた。永い間、彼はアフリカに止められ、徒刑にされようとしたが、遂に、フランスに歸ることが出来た。彼がシャツ裏に持つてゐた観測の記録も、更に驚くべき事には、彼の器械も、この恐ろしい冒険を、つゝがなく通つて來たのであつた。

この時まで、フランスは、第一人者の位置を占めてゐたのみならず、殆ど、その方面の唯一者でもあつた。その後の時期に於ても、フランスは活動しなかつたのではない。わが陸軍測地圖 *Carte d'Etat-major* は、その好例である。しかし、観測や計算の新方法は、主としてドイツとイギリスとから來た。フランスが、再びその位置を回復したのは、最近四十年間許りの間である。

この事は、一科學將校ベルリエ *Berliet* 將軍に負うてゐる。彼は、眞に大膽な企て、アフリカとスペインとの聯絡を、見事になし遂げたのであつた。観測所は、地中海の兩岸四ヶ所の山頂に、設けられた。數ヶ月の間、大氣が靜かに澄明になるのを、待つてゐた。遂に、海上三百キロメートルを越えて來た細い光を認めた。仕事は成

功した。

今日私たちは、一層思ひ切つた、大膽な計畫を、知つてゐる。ニスに近い山から、信號をコルシカ島に送る。これは、測地上の測定の目的からばかりではなく、光速度を計るためである。距離は二百キロメートルに過ぎないが、光線は、一度、コルシカ島に置かれた鏡で、反射された後、再び、その道を戻らなければならない。そして、精密に出発點に歸らなければならないから、途中で逸れることは、出来ないのである。

其後も、フランスの測地術の活動は、鈍ることはなかつた。こんな驚くべき冒険は、もはや見られないが、なし遂げた科學的の仕事は、莫大なものである。海外のフランス領土も、その本國と同じく、精密に測量された三角測量點を以つて、覆はれてゐる。

私たちの要求は、次第々々に増して來て、父祖の賞讃したのも、今日私たちを、満足させることは出来ない。しかし、正確なことを求めれば求める程、困難も、著しく増加する。私たちは、陥穽でとりまかれてゐる様なので、無數に在る思ひがけない誤謬の原因を、用心しなければならぬ。それ故、益々、完全な器械を創造する必要があるのである。

この點についても、フランスは、矢張り劣つては居ない。基線と角度とを測る私たちの器械は、殆ど缺點のないものであり、ドフォルジ^r DeForces 大佐の振子は、今迄にない正確さを以つて、重力を測定することが出来る。

フランスの測地術の將來は、事實上、陸軍の測量部の手中にあるが、これは、引續きバツソ Basso 將軍とベル

ト Berthaut 將軍とに依つて、指導されたものである。これは實に、祝福に堪へぬことである。測地といふものは、科學的の技能だけでは足りない。あらゆる氣候に於て、永い間の疲勞に、堪へなければならず、その指揮者は、共働者を服従させ、又その土地の手傳人に服従を命ずることが、出来なければならぬ。これは、軍隊のもつ特色である。その他、私たちの知つてゐる通り、フランスの軍隊では、科學は、常に勇氣と手をとつて、進んで來たのである。

その上、軍隊の組織は、最も必要な、活動の統一といふことをもつてゐる。非常に遠く離れてゐても、共同して働かなければならないに係はらず、各自が、その獨立を欲し、自己の名譽を望んで、相競争する學者たちの主張を調停することは、甚だ困難なことであらう。過去の測地學者の間には、屢々論争が起り、その影響の長く続いたものもあつた。學士院^r Académie は、ブーゲとラコンダミエとの論争を、永らく續けてゐた。私は、軍人に熱情がないといふのではないが、その規律が、あまり激しい自尊心を、沈黙せしめるのである。

多くの外國政府は、その測地部の組織を、フランス將校に依頼した。これは、フランスの科學的影響が、國外に於ても弱められてゐない證據である。

わが水路測量家も、同じくこの共同事業に、光榮ある貢獻をしてゐる。わが海岸、植民地の測圖、潮汐の研究は、廣い探究の分野を開いた。最後に私は、ラルマン氏 Tallemard の巧みな且つ正確な方法による、フランス全部の高低測量を擧げておかう。

かういふ人々によつて、わが將來は確實である。仕事は、缺乏することはなからう。その上、わが植民地には、

未だよく測量されない広い土地が、残つてゐる。それのみか、萬國測地學會は、嘗てラコンダミヌが測量したクイントの弧を、新たに測量する必要あることを認めた。この仕事を託されたのは、フランスである。又フランスは、さうするすべての権利をもつてゐる、といふのは、科學的の、謂はばコルデレラ Cordillere の勝利を得たものは、我が祖先であつたから。其の上、この権利を争ふものはなかつた。そして、我が政府は、それを遂行するに決定したのである。

モラン大尉 Maurain ラコムブ Lacombe 兩氏は、豫備的の探査を行つた。彼等が、苦痛の多い國々を過ぎ、険しい峯々を攀ちて、而も速にその使命を遂行したことは、誠に賞讃の價值がある。エクアドル共和國の大統領アルファン Alfaro 將軍は、それを讚嘆して、彼等を「鐵の人」"Los hombres de hierro" と呼んだ。

本當の仕事は、次いで、ブルジョア Bourgeois 中佐（當時少佐）指揮の下に、初められた。得られた結果は、初めの希望を、空しくしなかつた。しかし、わが將校たちは、氣候の爲めに、豫期せぬ困難をなめたのであつた。雲と雪とに閉ざされて、観測すべき信號を見得ないで、四千メートルの高所に、數ヶ月止まらなければならぬことも、一度ではなかつた。仕事が遅れ、費用が増したけれども、しかし、彼等の忍耐と勇氣とのお蔭で、測量の正確さを傷つけることは、なかつたのである。

總括

以上、私が説明しようと試みた所は、科學者の好奇心を引く無數の事實について、彼等は、如何に選擇すべきであるか——選擇は常に犠牲ではあるが、人間精神は、本來十全なものではないから、止むを得ず、選擇しなければならぬ——といふことである。

最初私は、これを一般的な考察に依つて説明し、一方、解決すべき問題の性質を考へ、他方、その解決の主要な道具たる、人間精神の本性を、一層よく、理解しようとした、次には、例を以つて説明したが、それは、無限に多くの例に依つてではない。私も矢張り、選擇をしなければならなかつた。そして私は勿論、自分が最もよく研究した問題を選んだ。他の人であつたら、恐らく、異つた例を選んだにちがひない。が、之は大した問題ではないので、私は、彼等も亦、同じ結論に達したであらうと思ふ。

事實の間には、階級順序がある。或る事實は價值の少ないもので、それ自身を教へるに止まる。學者はそれらを證明しても、唯一つの事實を學ぶだけであつて、新しい事實を豫知し得る様にはならない。この様な事實は、一度現はれても、再び繰返されることはない様に思はれる。

又他方には、得る所の多い事實もあり、それらは各々、一つの新法則を教へる。そして、選擇することが必要なのであるから、學者の研究すべきは、正に、この様な事實についてである。

勿論、この分け方は、相対的なものであり、私たちの無力に依るのである。得る所の少い事實とは、複雑な事實、見別けられない程多くの、様々な重複した事情が、影響を及ぼす様な事實である。しかし、私は寧ろ、私たちが複雑な事實と判断するのは、その事情の複雑さが、私たちの精神能力を超えてゐるからである、と云ふべきでもあらう。私たちがより更に廣大な、更に鋭い精神は、恐らく、それを別様に判断するかも知れない。しかし、そんな事はどうでもよい。私たちが用ゐ得るのは、そんな優れた精神ではなくて、私たちの精神なのである。得る所の多い事實とは、それが、實際に簡單であつて、判然と知られてゐる少數の事情に影響されると、或は、それを生ずる澤山の事情が、偶然の法則に従ひ、互に消し合つて、外見だけ簡單になつてゐるとに保らず、私たちが、簡單だ、と判断する所のものである。これは、最も屢々現はれるものであつて、その爲めに私たちは、偶然とは何であるかを、今少し詳しく、調べて見なければならなかつた。偶然の法則が適用される事實は、この法則の適用されない非常に複雑な問題に對しては、勇氣を沮喪させる科學者にも、尙、近づき易いものとなるのである。

私たちは、これらの考察が、獨り物理學のみでなく、數學にもあてはまることを、見て來た。證明の方法は、物理學者と數學者とで異なるが、その發見の方法は、互に頗る似よつてゐる。それは、いづれの場合に於ても同様に、事實から法則に上つてゆくのであり、又、法則に導き行くことの出来る様な事實を、探究するのである。

この點を明にする爲めに、私は數學者の精神を、その働きに依つて、三通りの形で現はした。發見者創造者たる數學者の精神、遠い父祖の時代に、或は、もの心もつかぬ幼年時代に於て、私たちの本能的な空間の觀念を構

成した無意識的な幾何學者の精神、中學の教師が、數學の第一原理を教へ、その基礎的な定義を理解させようとする青年の精神。これらの到る處に、私たちは、直觀と一般化の精神とが、如何なる役目を勤めるかを見た。若しこれがなければ、數學者のこの三段階は、共に同じく無力なものとなつてしまふであらうと思ふ。

又證明そのものに於ても、論理がすべてではない。眞の數學的推理は、まことの歸納法であつて、物理學的歸納法とは、多くの點で異つてゐるが、而もこれと同じく、特殊から、普遍に進むのである。この順序を逆にして、數學的歸納法を論理の規則に引戻さうとした、あらゆる努力は、素人の近より難い言語を使つて下手に胡魔化するか、失敗に終るかの、他はなかつた。

私が物理學からとつた例は、得る所の多い事實の、様々の場合を示した。ラヂウム線についての、カウフマンの一實驗は、同時に、力學、光學、天文學に、革命を齎した。何故か。それは、これらの科學が発達するに隨つて、それらを結合するものが、一層明に認められ、私たちが、普遍的科學の地圖を、概觀し得る様になつたからである。丁度、すべての方向に擴つてゆく流れの共通な源の様に、數個の科學に共通な事實があつて、それは、其處から四つの異つた盆地をうるほす水の流れ出すサン・ゴタル *Saint-Gothard* の峯にも、たとへられるのである。

かうして、これらの盆地が、各々別もので、越え難い障壁で隔てられてゐる、と考へてゐた昔の人々よりは、私たちは、一層の洞察を以つて、事實を選択することが出来る。

選ばなければならぬものは、常に簡單な事實である。しかし、これらの簡單な事實の中でも、今云つたサン

「ゴッタルの峯にあたるものを、選ばなければならない。

そして、諸科學に、直接の關連がない場合でも、尙類推に依つて、互に明にされる。氣體の従ふ法則が研究された時、私たちは、それが非常に得る所の多いものであることを知つたが、なほその效用を、眞價以下に見てゐたのである。何故かといふに、氣體は、或る見方からすれば、銀河の寫しであつて、物理學者のみに興味あるものと思はれたこの事實は、やがて、そんな事に思ひもかけなかつた天文學者に、新しい視界を開くであらうから。

最後に、測地學者が、非常な困難をして建てた彼の信號を狙ふために、その望遠鏡を數秒角だけ廻はさなければならぬことを、知つたとすれば、そのことは、頗る小さい事實であるが、その影響は、甚だ大きい。それはたゞ、地球上に一小丘のあることを示すから、といふばかりではなく——小丘そのものは、大して興味のあるものではないから——尙、この小丘が、地球内部の物質の配置を、又それに依つて、わが惑星の、過去と、未來と、及び、その發達の法則とを、知らしめるからである。

大正十四年十二月十一日 印刷
大正十四年十二月十八日 發行

科學と方法 奥附
(定價貳圓五拾錢)

譯者 山本修

發行者 東京市牛込區神樂町二丁目十一番地
足助素一

發行所 東京市牛込區神樂町二丁目十一番地
叢文閣
振替東京四二八八九番
電話牛込二五七三番

印刷所 東京市神田區表神保町十番地
(印刷者) 前田宗松
文成社印刷所

フ ラ マ リ オ ン 社

自然科學叢書

翻譯 理學博士 石原純
監修者 理學博士 小泉尚文
理學士 福美

ドクラージュ 共著 進化學說 小泉丹譯(既刊) 定價廿參圓 送料拾八錢

アンリ・ポアンカレ 著 輓近の思想 岡谷辰治譯(既刊) 定價貳圓卅錢 送料拾八錢

ビエール・デルベ 著 科學と實在 平林初之輔譯(既刊) 定價四圓卅錢 送料貳拾六錢

ブグイェー 著 昆蟲の心的生活 丘英通譯 (近刊)

ボーン 著 化學と生命 後藤格次譯 (近刊)

エリクソール 著 社會病學 宮崎三郎譯 (近刊)

以下續刊

ルプアフ

昆蟲記

|| 昆蟲の本能と習性の研究 ||

(1) 大杉 榮譯

(2) 椎名其二譯

(3) 椎名其二譯

(4) 椎名其二譯

以下續刊

定價貳圓

送料貳錢

定價貳圓

送料貳錢

定價貳圓

送料貳錢

定價貳圓

送料貳錢

定價貳圓

送料貳錢

定價貳圓

送料貳錢

定價貳圓

送料貳錢

定價貳圓

送料貳錢

定價貳圓

送料貳錢

定價貳圓

送料貳錢

定價貳圓

送料貳錢

定價貳圓

送料貳錢

定價貳圓

送料貳錢

定價貳圓

送料貳錢

定價貳圓

送料貳錢

定價貳圓

送料貳錢

定價貳圓

送料貳錢

定價貳圓

送料貳錢

終

