

スペクトルの話 (二)

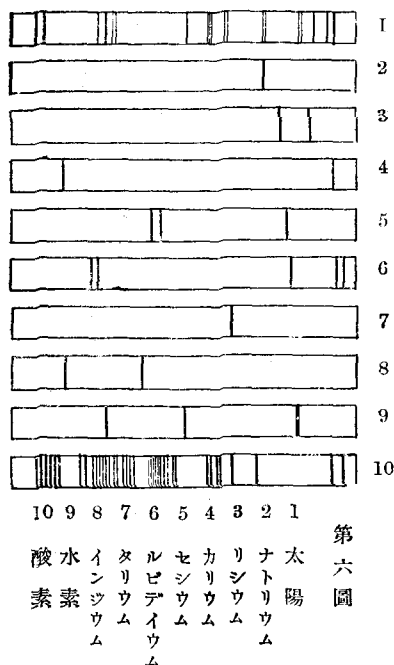
理學士 宮原 節

七 一般に固體の溫度を高めて行くミ、始めの間は眼に見えない光、換言せば見ゆる部の波長よりも更に波長の長い熱線を出して居るのであるが、一定の溫度即ち攝氏五百度以上に溫度が昇れば、固體の種類に拘らず赤く輝き始める。即ち見ゆる光の内でも最も波長の長い光を出し始める。更に溫度を高めて行くミ、スペクトルの順序に黃綠青ミ波長の短い光を出して、攝氏千三四百度に昇れば終に堇色の光を全部出して白色に強く輝やく。此の状態を白熱狀態ミ云ふ。故に白熱狀態にある物體から出る光をスペクトルに分析して見るミ、凡ての色が配列して居る。その模様は丁度太陽のスペクトルミ同様であるが、唯黑線が無い丈が違つて居る。此の種のスペクトルを連續スペクトルミ名付ける。蠟燭の光、電燈の光等は皆連續スペクトルを示すのである。繰返して云へば、連續スペクトルミ云ふのは、凡ての光が波長の順序に竝んで居るものであつて、白熱せる固體が出すものである。

瓦斯體を熱した時には、他の型のスペクトルを生ずる。此れは太陽のスペクトルに見る様な各色の連續を示さないで、黑地の上に其瓦斯元素に特有なる輝ける線の配列を生ずる。

その線の數及位置は各元素に特有であつて、又その位置に相當する色を以つて輝やく。既に述べたる如く、フラウンホーフェルが発見したるナトリウム線は、ナトリウムに特有なる線であつて、これは食鹽を酒精ランプ又はブンゼン燈なきて燃焼せしめる時に生ずる黃色の一線である。これは通常D線ミ稱する線(太陽スペクトルに於ける)ミ正しく一致した位置に生ずるもので、少し精密な裝置で見れば D_1 、 D_2 ミ名づくる二本に分れて見える。此れがナトリウムの輝線スペクトルであつてナトリウムに特有なるものである。鐵などは一千本以上の線が顯はれる。

斯くの如く、各元素は夫々一定の位置に輝線を現はす、即ち元素を燃焼せしめた時は夫々一定の波長を有する光しか出さないものであつて、其の上に、元素が如何なる狀態にて他元素と同時に存在するとも、其元素の輝線の位置は變化するこゝろがないから、是れを用ゐて微量にて存する元素でも、其存

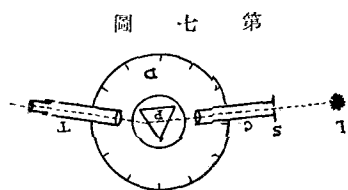


第六圖

在を定性的に知るこゝが出来来る。之れに依つて、恒星から来る光をスペクトルに分けた時に、その組成を知るこゝが出来来るこゝも了解出来やう。即ち豫め地球上にある總ての元素の輝線の位置を正確に求めて置けば、一つの天體から来る光のスペクトル中に現出する輝線の位置を比較するこゝによりてその天體を組成する元素を知るこゝが出来、又それが氣體として存するか否かも推察するこゝが出来来る。第六圖は二三の元素の輝線の位置の比較を示したものである。

1 は太陽のスペクトルで主要なるフラウンホッフ線の位置を示してある。

以下にあるのは九種の元線の輝線スペクトルの主要なる線



第七圖

の位置を示したものであつて、各輝線はその位置に従つて、太陽のスペクトルに相應する色を以つて現出するのである。例へばナトリウムならば、線の位置に黄色にて現はれるのである。

八、スペクトルの観測に用ゐる器械を分光器と名づける。第七圖は其原理を略圖に書いたものである。

これは周邊に三百六十度の度盛りをした金屬の圓板であつて、支柱に依つて水平に支へられて居る。此の圓板の中央に水平になつて居る小圓板があつて此の上にプリズムを置く。C は光源から来る光を平行光線にするものであつて、コレメールと名づける。これは金屬の圓筒であつて、一端に凸レンズがあり、このレンズの焦點に細隙 S が取付けてある。而して、此の裝置は、水平の位置を取つて支柱に固着されて居る。T は小型の望遠鏡であつて、圓板の度盛りに沿ふて回轉するこゝが出来来る。細隙 S は螺旋に依つて其幅を自由に變更するこゝが出来来る。になつて居る。之れに少しの裝置を加へて、各波長の光の屈折の多少を數量的に測定するこゝが出来来る様にしたものを分光器と云ふ。

今に驗しやうとする物質の蒸氣の焰があるをすれば、之れから出た光は細隙Sを通つて極く細い幅の光ミなつて凸レンズに來る。細隙Sは凸レンズの焦點にあるから凸レンズを出た光は平行光線となる。之れがプリズムの一面にあたり、屈折して他の一面より空氣中に出るのであるが、(四)に於いて述べた如く、此の時は波長の長短如何に依つて、屈折光線の方が夫々異つて出る。之れを望遠鏡で擴大して見れば、光の來る方向に、其の光に依つて色付けられた細隙の像が見える。その細き線の位置を測定せば、その物質に特有なる輝線スペクトルを決定するこゝが出来ゐる。

非常に接近した二本の線を正しく二本に見るためには良好なるプリズムを使用しなくてはならぬ。此のためにはプリズムに比べて廻折格子は更に精密なるスペクトルを與へる。廻折格子は既に述べた様に硝子又は金屬の表面に一種に付き一萬四五千本の割合で平行なる線を劃したもので、硝子製のものでは通過光線に依り、金屬製のものでは反射光線に依つて、スペクトルが見らる。何れも光の干渉云ふ現象によつて生ずるのであつて、非常に接近した線を二つに分けて見せる能力はプリズムに比して遙かに大きい。

天體より來る光のスペクトルを見るには、プリズム又は廻折格子を望遠鏡の接眼レンズの部分に取付ける。此の爲めに

分光器全體の型が其の目的の爲めに都合よく變形されて居るこゝは勿論である。猶天體より來る光は概して微々なので、スペクトル線を肉眼で觀測するこゝは甚だ困難であるから、之れに寫眞裝置をも附して、分光器によりて得らるるスペクトルを直ちに寫眞に撮る。寫眞に得られたスペクトルの各線の位置は、其乾板と測微尺を附した顯微鏡に依りて決定する。(一戸直藏氏著通俗講義天文學上卷七四頁を參照せられ度い)

九、太陽スペクトルの中に數千本の黒線があるこゝは既に述べた。フラウンホーフェルは此の中のD線ミナトリウムのスペクトルミが丁度一致するこゝを見出したけれ共、終に此の黒線の意味を捕捉するこゝが出来なかつた。フラウンホーフェル線の意義が明瞭にせられたこゝは、キルヒホッフミグゼンミの二人の努力によるものであつて、實に一八五九年のこゝである。キルヒホッフはハイデルベルグで時の大化學者ブンゼンミ共に研究をしてスペクトル分析の基礎を築いたのであつて、之の研究結果を天體に應用したのは、キルヒホッフ唯一人であつた。

此二人の研究の最初の論文が一八五九年に發表せられた。其の内に現今「キルヒホッフの法則」として知られて居る法則が述べてある。「氣體は高溫度に熱せられると自己に固有なる

色の光を出すのであるが、之れが比較的低温度であれば、他の、より高温度にある光源から来る光の内から、その氣體に固有なる色の光を吸収する。」是れがキルヒホッフの法則である。次に例をあけて見やう。既に述べた如く、ナトリウムの蒸氣を熱するこ（少量の食塩をアルコールラングの焰の中に入れる時に得らる）黄色の二本の輝線を生ずるので、之れがナトリウムに固有の光であつて、この二本の線に相當する波長以外の光は出さない。然るに非常に高温度にある發光體、例へば弧光燈の光を分光器のコリメートルに入れて連續スペクトルを造つて置いて、發光體ミコリメートルミの間にナトリウム蒸氣を置くこ、今迄見えて居た連續スペクトルの黄色の部分に二本の黒い線が顯はれる。而して此の黒線の位置はナトリウムの輝線の位置に正確に一致するのである。スペクトルの色帯はコリメートルに附してある細隙の像の連續したものであるから、此の新に生じたる黒線は、之れに相當する波長の光が缺けて居るこを示すものであつて、換言せばナトリウムの蒸氣が高温度に於いて出す固有の波長の光を、より高温度にある發光體より来る光の中から吸収したこを示して居る。

是が「キルヒホッフの法則」が示して居る事實であつて、總ての氣體に適用さるべき法則である。斯くの如く吸収に依つ

て生じた黒線を有するスペクトルを吸収スペクトルミ名づける。太陽のスペクトルは此の種に屬するものである。

キルヒホッフは更に次の如く述べて居る。「太陽のスペクトルに存在する黒線の内、地球の大氣の吸収に依つて生じたものの外は、總て太陽を取圍める耀く大氣中に存する物質の吸収に依つて生じたるものであつて、此等の物質は白熱せられたる時は、フラウンホーフェル線ミ同じ位置に輝線を顯はすものである」こ。キルヒホッフは地球上にある金屬元素のスペクトルを太陽のスペクトルミ比較して、太陽の周圍の大氣中には、ナトリウム、マグネシウム、バリウム、ニッケル、カルシウム、鐵、銅、亜鉛等の蒸氣が存在するこを推定した。

フラウンホーフェルに依つて精しく研究された此の黒線が有する謎は、キルヒホッフに依りて始めて解かれた。實にキルヒホッフ及びブンゼンの努力に依つて、スペクトル中の輝線が元素、殊に金屬元素の存在を確實に示して居るこが立證されたのであつて、彼等二人が、セシウムなる元素をスペクトル分析に依りて發見し、更にブンゼンが同法によりて新元素ルビディウムを發見したこに依りて、スペクトル分析は其基礎を固め、其れより急速なる發達を遂ぐるに至つた。而してフラウンホーフェル線の意義が明瞭となつたのはキル

ヒホッフの功である。

一〇、太陽のスペクトルに數千本の黒線が見ゆることは既に述べた。ローランドミ云ふ人は廻折格子を用ゐて一萬四千本の黒線を觀測して居る。(五)及び(六)に於て其内の主要なる線にABC等の名を附してあることを述べ、前節に於いて、是等の線は太陽の周圍に太陽自身よりも比較的低溫度にて存在する太陽の吸収によりて生ずるものであることを述べた。是れに依つて太陽の物理的狀態を明かにする可能性を生じた地球上にある元素のスペクトルを精密に研究し、之れミ太陽のスペクトルを比較することに依つて、太陽の中に如何なる元素が含まれ居るかが分明した。其の結果に依れば、ハロゲン屬元素及び窒素屬元素を除けば、未だ確定せざるもの有れども、大部分太陽中に存在して居る様に思はれる。第一表の第二行に記してあるのは、此の線を生ぜしむる物質であつて例へばD線は太陽の周圍にあるナトリウムの蒸氣によりて生じたるものなることを示して居る。

然しながら注意すべき事は太陽の光が地球表面に達する迄に地球の周りを取巻ける空氣の層の中を通過するミ云ふことである。従つて、此の空氣層の中にある瓦斯體が吸収作用を爲すミ考へらるゝから、分光器で得たる太陽のスペクトル中には、此の爲めに生じた黒線も見ゆる譯で、黒線の中で、ミ

の線が太陽の周圍の大氣に依りて生じたもので、ミの線が地球の大氣に依つて生じたもの、ミ云ふことを區別することが出来なければ、太陽のスペクトルに依つて其の成分を知るミが出来ない事になるのであるが、幸ひにも其の區別をする手段があるのであつて、是に依つて地球自身に原因のあるものが知られて居る。即ちB、 α 、Aの三線が空氣中の酸素の吸収に依りて生じたもので、此の外赤色部に地球の大氣中の酸素及水蒸氣の吸収に依りて生じたもの、及び其れらしきものが合して數十本存在して居る。

フラウンホーフェル線の強さは一樣ではなく、太くて濃いものもあるし、細くて漸く見得る位のものもある。大體から云へば軽い元素程線が太く重い元素程細い。又地球上に在る元素で太陽中に存在するか如何か、確實でないものは概して原子量の大きな元素である。此の事實は太陽の物理的狀態を研究する上に互ひに關係のあることである。是れミ反對に太陽中に先きに發見せられて、後に地球上にて發見せられた元素もある。一例はヘリウムである。此の元素は一八六八年にサー・ノーマン・ロツキヤーに依つて太陽中に存在することが發見されたのである。即ち太陽のスペクトル線の内に未だ地球上にある凡ての元素の輝線スペクトルミ一致しないものがあることを發見し、此の線は他の星の光にても見らるるこ

こから、此の線を生ずる物質は太陽及び他の星にのみ存在するを考へられたので、之の物質の名も最初に太陽にて發見せられた關係から、ギリシャ語にて太陽を意味する「ヘリオス」なる語を取つてヘリウムと呼ばれたのである。然るに、サーウイリアム・ラムゼーは彼がアルゴンを發見したる翌年即ち一八九五年にクレヴエートと名づくる礦物（ウラニウム礦の一種）から殆ど窒素を混ぜざる氣體を得たので、之のスペクトルを調べて、此の未知の物質が太陽のみに存在するものと考へられて居たヘリウムと全く同一のものなることを證明した。斯くして此の元素は太陽中に先づ發見せられ、約三十年後にはじめて地球上にて發見せられたのであつた。

一、ハーシエルが寒暖計を用ゐて太陽のスペクトルの各部の温度を検して、赤外線を發見して以來、此の方面の研究が盛んに行はれた結果、重要にして興味ある事柄が澤山見出された。簡單な事を二三述べよう。

太陽から来る光の中には赤色部の波長よりも更に長い波長を有するエーテル波があつて、之れを赤外線といふことを述べて置いた。太陽のスペクトルの各部分の温度を検して見るに、其温度は不同であつて、赤色の外部の見えない部分の温度も相當に大きい。最も温度の高い部分は大凡〇、五ミクロン（一ミクロンは千分の一ミリの所である）。

エーテル波はエネルギーの傳達さるるものであることは既に述べた。紫外線、見ゆる部分の光、赤外線など總べてエネルギーがエーテル波として傳達するものを總稱して放射線と名付けて居る。太陽スペクトルに於いて〇、五ミクロンの所が最も温度が高いと云ふことは、此の部分のエネルギーが最大であることを意味して居る。

少し餘談にわたるが、物體の表面の單位の面積から一秒間に放射さるゝエネルギーの量をその物體の放射能と名づける。又放射線が物體に入射する時に、物體の吸収するエネルギーを入射するエネルギーの量の比をその物體の吸収能と名づける。従つて吸収能の大きなもの程、外部から入射する放射線のエネルギーを多量に吸収することになる。凡べての物體の吸収能はより小さいのであつて、これは如何なる物質も入射する放射線の一部を其の表面から反射することの意味して居る。理論上の研究には、外部から入射する放射線を全部吸収することの出来る物體、換言せば吸収能が一なる物體を假想して之れを完全なる暗黒體と名づけて居る。研究の結果に依れば、完全なる暗黒體は、その放射能が總ての物體の内で最大なるものである。

諸て前にも一寸述べた事であるが、物體は其温度の如何に拘らず各種の波長の放射線を出すものであるが、其の中如何

なる波長の輻射線が最大のエネルギーを有するか、云ふことは其物體の温度に依つて定まるものであつて、例へば餘り温度が高くない時は波長の長い赤外線を出し、温度が昇るに従つて出す波長が短くなり、攝氏の五百度ではじめて赤色の光を出し初める。而して温度が昇るに従つて、橙黄、黄、綠、青、藍順次に波長の短い光を出して、白熱状態に達するのである。ウイーン云ふ人は理論上の研究から斯の如き場合に於ける發光體の温度を、それが出す光の内で最大なるエネルギーを有する波長の間の關係を求めた。エネルギーの多少は熱のエネルギーとして温度を測定して決定する。その關係は次の様に云ひ表はされる。

「或る温度に於て完全なる暗黒體の發する輻射線中最大のエネルギーを有する波長は、其暗黒體の絕對温度に反比例する。」

之を數學式で表はせば、今暗黒體の絕對温度を T で表はし最大エネルギーを有する波長を λ ミクロンで測つたものを λ_m とあらはせば

$$\lambda_m T = c$$

である。茲で c は恒數を表はして居るのであつて其の値は

$$c = 2947$$

である。此の法則をウイーンの変位法則と云ふ。之の法則に

依つて、スペクトルの内で其の部分の温度が最高であるかを測れば、その波長に依つて其の發光體の温度を概算する、こゝが出来る。太陽に於ては 0.5×10^{-10} ミクロンであるから

$$T = 5880^\circ$$

即ち太陽の表面の温度は絕對温度で五八八〇度となる。絕對温度云ふのは攝氏氷點下二百七十三度を零度として測つた温度であるから、絕對温度を攝氏に換算するには之れから二百七十三を引けばよい。此の計算は太陽を完全な暗黒體と見たのであるが、若し然らざる場合には其の温度は此の値より多少高くなる。尙此の値は太陽の最外側の温度であるが、内部の温度は知ることが出来ない。

かくの如くして、スペクトルの研究に依つて太陽の温度、他の星の温度を知ることが出来る。此の外にも天體の温度を測定する方法は數種あるが、色々の方法から推算された太陽の表面の温度は攝氏の六千度内外である。

一二、スペクトル分析に依りて如何なる事を知り得るか云ふことは以上述べた通りであるが、此外に更に驚嘆すべき作用を有して居る。それは天體の視線の方向の速度を吾々に知らしめること云ふ事である。視線の方向に於ける速度とは、吾人の眼と星を連ねた線、即ち視線の方向に於いて、吾人に

近づく運動と、吾人より遠ざかる運動とに於ける速度を云ふのである。

停車場に於て屢經驗することであるが、列車が停車場に向つて突進し來る時に鳴らす汽笛の音は、同じ列車が停車場を去りつゝ發する音よりも調子が高く聞ゆるのである。此の現象は、靜止せる人に對して汽車が動いて居る時に起るもので汽車中に居る人には感じられない。實驗室内に於いて、一定の音調を有する音叉を手にして、之れを打ちならして持ちたる方の手を烈しく前後に動かせば、音叉が吾人より遠ざかる時には音調が低く聞え、近づく時は音調が高く聞える。同一の發音體から出る音が、斯様に調子を異にするのは何故であるか。之れを明かにしたのは「ドブレル」であつて、「ドブレルの原理」と呼ばれて居る。

音の調子に高低があるのは何に依つて生ずるか云ふに、其れは發音體から耳に達する音波の波長に依るものであつて波長が長き程、換言せば振動數が少ない程低く聞える。

今發音體が空氣中に靜止して音波を四方に出して居ることを、之れから出る空氣の疎密波は球面をなして總ての方向に進んで行く。發音體が出す調子は一定して居るから、此の球面をして居る波は等しい距離を保つて進む。従つて耳には一定の波長の波が來るから一定した調子の音が聞かれるので

ある。然し發音體が音波を出しながら、或る方向に進んで居る時は是れと異つた事情の元に置かれる。これを第八圖に依つて説明しやう。發音體が1にあつて一秒毎に一つの波を出

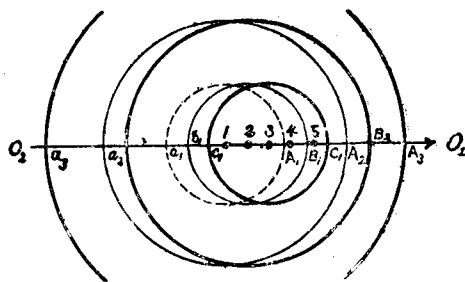


圖 八 第

すものと假定し、之れと同時に發音體が矢の方向に一定の速さで進むものとす。圖に於いて1 2 3 が各一秒後に於ける發音體の位置とす。1に於いて音波を出せば、一秒後に發音體は2に來て居り、音波は A_1 に來て居る。此處で更に新しい波を出す。更に一秒後を考へるときは、發音體は3に來て居るし A_1 の波は A_2 に來て居る。そして2に於いて出た波は B_1 に來る。此處で再び波を出す。第三秒の終りには發音體は4に來て居て各の波は A_3 B_3 C_3 A_4 にある。時間を経過すれば、此の様な状態を何時迄も保つて順次に音波が出る。是れより見るに發音體は波長が1 A_1 、2 B_1 、3 C_1 等の一定の長さの波を正しく出して居るに拘らず、觀

測者から見れば、 O_1 に居る観測者には A_3, B_2, B_2, C_1 等發音體の出す波長よりも短い波長の音波が達する。之れに反して O_2 の側にある観測者には a_3, a_2, a_1 等のより長き波長の音波が達する。故に O_1 に居る観測者には調子が高く聞え、 O_2 に居る人には低く聞えるのである。

之れが「ドブレルの原理」に名付けるものであつて、更に繰返して言へば、發音體が運動すれば、運動する方向には音波が密集して波長が短くなり、反對の方向には音波が疎隔して波長が長くなる、と云ふことである。

光も亦エーテルの波動であるから、天體が吾人に近づく場合には之れより来る光の波長は短くなり、遠ざかる場合には長くなるべきであり、若し然りとすれば、波長が短くなる場合には、スペクトルに現はれたる輝線又は黒線が紫色端に移動する筈であり、波長が長くなる場合には是等の線が赤色端に移動する筈である。

此の如き考案は最初ドブレルが一八四三年に指摘したのであるが、彼は輝く物體の色が、それが運動する爲めに變化を受けなければならぬと考へた。然し是れに依れば、スペクトル

ル全體が一方に少し片寄るのであるから色の變化は起らないことになる。所が一八四八年にフイゾーが此の變位は、スペクトルの線を吟味すれば分るに相違ないとの考へを抱いたのであつた。然し之れが實際星のスペクトルに應用されたのは遙かに後の事であつて、實に一八六七年になつて、初めて英國のサー、ウィリアム、ハッギンスに依つて試みられた。而してその結果は充分に迄は行かなかつたけれ共、此の方法が可能であることとは認められた。此の方法は數個所で始められたが、恒星より来る光は非常に弱いので、肉眼で觀測するのは非常に困難なる事であるから、確かなる結果は得られない。此の不便は天體を寫眞に撮影すること依つて除かれた寫眞術は一八二七年に發明せられたもので、之れを用ゐて月を撮影した最初の人は英國のドレーバーであつて一八四二年のことである。其後彼れは一八四三年にはフラウンホーフェル線の撮影をして居る。此の寫眞術が、スペクトル線の移動を知るために用ひられたのは一八八八年の事であつて、之を試みた最初の人にはポツダムのフォーゲルである。彼は多く、の星の視線度を觀測して居る。かくして視線速度が正確に認

め得る様になつた。

その方法は、測定せんとする星のスペクトルを撮り、之れに平行に相接して鐵、水素等のスペクトルを同時に寫眞に撮影して、標準物質の線に比較して星のスペクトル線が變位して居るか否かを調べるのである。もし赤色端に變位して居れば其星は觀測者から遠ざがりつゝあることを示し、紫色の側に變位して居れば吾人に近づいて居ることが知られる。そして變位の大きさを測れば、光の速度を用ひて速度の大きさをも決定し得るのである。最新の器械を用ふれば毎秒一哩の速度の差をも檢出し得、誤差の割合は毎秒十哩乃至五十哩を運動する天體に於いて、約一秒に付五分の三哩よりも大きくない程度である。測定せられた結果の一例を言へば、琴座 α 星は毎秒十四軒、ケンタウルス座 α 星は毎秒二十二軒の速度にて何れも吾人に近づいて居り、 α 駁者座星は毎秒三十軒の速さにて遠ざかりつゝあるのである。

スペクトル線が本來の位置から交互に赤色端及紫色端に週期的に移動して居れば、その天體は週期的に吾人に近づいたり吾人から遠ざかつたりするのであるから、その天體は廻轉

運動をして居ることを意味する。是れに依つて天體の自轉を知るこゝが出来、又、分光器的連星を見出すこゝが出来るのである。太陽が自轉するこゝは之れに依りても知るこゝが出来る。又フラウンホーフェル線の内にて、地球の大氣に原因するものゝ、太陽の大氣に原因するものゝを區別する方法が得らるゝのである。それは同一の原板に太陽の東端と西端とのスペクトルを取つて見るこゝ、太陽の大氣に原因を有する線は、一つの寫眞では赤の側に他の寫眞では紫の方へ移動するけれ共、地球の大氣に原因を有するものは移動しないので、之れに依つて區別するのである。

以上でスペクトルとは如何なるものか、スペクトル分析が如何に應用せらるゝかを簡単に述べた。是れに依つてスペクトル分析が如何に偉大なる力を有して居るか、お分りになつた事と信するのである。唯極く概略を記した爲めに、或は簡単に過ぎ或は冗長に流れて反つて不明瞭となつた所も有る事と思ふが、其邊は御判讀を願ふ次第である。猶、恒星のスペクトルに就いて述べて同時に前文の不完全なる所を補ひ度いと思ふけれ共、餘り長くなるから今回は茲で擱筆するこゝにして又他の機會に誌面を拜借し度いと思ふ。(終り)