

夜光に就いて (綜合報告)

小 岩 井 誠

On the Light of the Night Sky.

By M. Koiwai.

Abstract:—In this note are synthesized many papers about the night sky which came to my knowledge. The principal papers were noted on the marginal space.

§ 1. The most exact measurements of the brightness of the night sky, measured in comparison with a star of known magnitude, were made by Dufay. These are as follows:

visual magnitude: 4.60 m (35 clear nights)

photographic magnitude: 4.36 m (55 clear nights).

With respect to the polarization of the light of the night sky also, the most precise determinations have been made by Dufay. They have shown that the light of the night sky is partially polarized and is always very small (between two and four percent).

From these and other reasons, we are led to think that there is an emission light in the high atmosphere.

§ 2. The earliest observation of the auroral green line in the night sky was made by Slipher in 1915 and then the wave length of the line was precisely determined by Babcock through a Fabry-Perot interferometer in 1923.

After that, Sliphère discovered (1929) a group of emission lines in the red and orange regions of the spectrum, up until that time unexplored. These wave-lengths were as follow: 5892, 6315, 6530, 6870 and 7270 Å.

The presence of certain nitrogen bands in the night sky (in the case of the aurora, the bands 4278 and 3914 Å. of the negative system of nitrogen have generally an intensity comparable to that of the green line) was not observed up until 1933. In short, up until that time all the observed bands between 3900 and 5100 Å. are much weaker than the line 5577 Å.

§ 3. Recent reseaches on the spectrum of the night sky (1933-1935) has been made by Cabannes and Dufay. To simplify the exposition of the results, we devide the spectral intervals studied (8000-2950 Å) into three regions.

(a). Region 5000-8000 Å.

The principal emission spectrum of the night sky between 5000 and 8000 Å belong to the three forbidden lines of neutral oxygen atom: 5577, 6300 & 6360 Å respectively, and next to the first positive system of the nitrogen bands. The vibrational bands of water vapour *a*, *C*, *c* and *D* are also observed in the night sky.

(b). Region 3800-5000 Å.

All the emission lines or bands in this region are quite weak. We find in the first place several bands of the first negative bands and of the second positive bands of nitrogen, and 32 Vegard-Kaplan bands are included between 3400 and 5400 Å. Other than these, certain intense lines of the red spectrum of argon and the most typical lines of the spectrum of cometary nuclei are all very near certain radiations of the sky.

(c) Region 3000-3900 Å.

In this region 40 lines or bands of the emission spectrum was observed, most of them belong very probably to the negative and second positive systems of the nitrogen bands.

Several other radiations are very near the cometary nucleus lines. But at the present time,

it seems difficult to decide definitely about these attributions.

§ 4. In this section the variations of the light of the night sky is described. Since 1923, Lord Rayleigh made a long series of measurements on the brightness of the sky through coloured filters. According to Rayleigh and his collaborators, important variations occur from one night to another in certain spectral regions.

From 1923 to 1927, Rayleigh's measurements with a green filter indicated a seasonal variation with a minimum of brightness in December, and two maximum less pronounced in March and in October. In addition, Lord Rayleigh found an increase of the average light from 1923 to 1927. During the winter 1931-32, Dufay found a simultaneous weakening of the green line and also of the blue and violet regions. This slow variation shows a correlation between the intensity of the night sky and the activity of the sun.

The variations which occur during a single night have been studied by Lord Rayleigh and McLennan. These variations seem systematic, the brightness passing in general through a maximum around midnight. In contrast, the results of Karandikar and Ramanathan, obtained in India are absolutely different. They indicate, for all spectral regions, the following tendency: a progressive weakening during the first part of the night, a minimum between midnight and two A. M. followed by an increase of intensity during the end of the night.

§ 5. Theories of the origin of the night sky light.

The night sky light is a very complex phenomena whose origin still remains to a great extent mysterious.

The author indicates briefly the hypothesis which seem acceptable for explaining.

In 1932, Dauvillier suggested an extremely attractive theory which tries to interpret simultaneously all the phenomena of the high atmosphere, by attributing them to the electronic emission of the sun.

The solar electrons come into the neighborhood of the earth, their paths curve into the earth's magnetic field. The earth is then surrounded at a distance of the order of its radius by a quasi-spherical enclosure of paths. Gas molecules (oxygen, nitrogen) which Dauvillier assumes to exist even at this distance from the earth, will then be ionized by primary electrons which thus produce much less rapid secondary electrons.

The primary polar paths (such as P_1 in Fig. 6) produce the polar aurora, and the primary equatorial path (such as E_1) which liberate secondary electrons produce the permanent aurora.

S. Chapman (1937) also attempted to illustrate the permanent aurora which is originally derived from sun light. The energy represented by the light of the night sky is stored up during the day mainly in the form of dissociation (including ionization as a special case).

The two atoms into which oxygen molecules are dissociated by day may both be in the lowest state (3P) or one may be in this state and the other in the 1D excited state. But very soon after sunset all the 1D atoms then existing will have reverted lowest state. This is the energy of the main source of excitation of the night sky light, though processes yielding higher amounts of energy will also go on to a minor degree.

The nitrogen molecules will mostly be in their lowest state and the dissociation energy of the 3P oxygen atom can raise the nitrogen molecules to the 1S state.

Thus most of the spectrum of the permanent aurora can be illustrated by this theory.

§ 6. Attempts at reproducing in the laboratory the spectra of the aurora and of the permanent aurora have been made by Vegard, Kaplan and McLennan etc., but the author does not touch them here. At the end he alludes to the presence of the three forbidden lines of neutral oxygen atom in novae and in the planetary nebulae.

夜光中の特に Auroral Green Line の強度變化を觀測するに際して、夫れに關する記事、論文を漁つた所、稍纏つたと思はれるので、此の際斷片的ではあるが綜合して置くのも無意味ではないと

考へ、此處に敢へて拙文をも省みず筆を執る次第である。

§1. 夜光研究の第一歩

太陽が地平線下に没しても、地球の大氣は暫し日光を散亂して全くの闇とはならない。此の所謂薄明は太陽が地平線下 18° に到つて終るとされてゐる。隈なく晴れた夜は、月もなく又都會光にも影響されぬにも拘らず、此の夜は全くの闇ではない。所謂「星明り」と稱する如く地物の輪廓は識別出来る上に、新聞等の大活字は判讀出来る位の明るさで、暗室の闇の感じとは全く趣を異にする。此の夜の明るさは 300 m 遠方の 25 燭光と同程度とされてゐる。

夜光の原因が抑々何であるかを研究し始めたのは比較的近來のことで、Newcomb⁽¹⁾ が 1901 年に發表した記事に依ると、夜光の全光量は盡くの星 (肉眼に見ゆるも見えぬも) の光に原因すると述べてゐるが、現今の宇宙構造から推定した星の總數から求めた夜光の明るさは實測の $1/5$ にも達せぬのである。

夜光の強さを實測する方法は Dufay (眼視的)、Fabry (寫眞的) 等が考案してゐるが、Dufay⁽²⁾ は 1923-26 年迄に北極附近の夜空の明るさを實視及び寫眞の兩方法をもつて實測して、

實視等級 = 4.60 m (35 晴夜)

寫眞等級 = 4.36 m (55 晴夜)

なる結果を求めてゐる。

之等の結果は Newcomb, Burns, Bourget 等が先に測定した値と能く一致して居り、 1° 平方の夜空から降り注ぐ夜光は、其の内部に含まれてゐる星の光の五倍にも相當してゐる。

尙、天頂距離の等しい二區域の夜光の強さを比較すると、銀河に於ける光輝は銀河外の夫れの二倍に達してゐるが、若し夜光の根源を全く星の光に歸するならば當然四、五倍に達せねばならぬ筈である。

斯くして夜光の大部分は所謂「星明り」ではあり得ないことを知つたが、更に銀河の外部に於ては何れの方向に就いても、天頂距離と共に増光してゐること* 等を考へる時、夜光の源が大氣に存すると考へるのが自然であらう。

Fabry⁽³⁾ は 1918 年夜光が月光の如く偏光してゐるかどうかといふ問題を提出して興味を惹いた

(1) *Astrophys. J.* 14, 297 (1901).

(2) *Reviews of Modern Physics* Vol. 8, No. 1.

* 夜光と天頂距離との關係を知ることは、星雲の光輝研究の爲に必要なことであつて、最近 Elvey 及び Roach (*Ap. J.* 85, 3, 1937) は青色に就いて測定して居り、又 Rudnick (*Ap. J.* 87, 5, 1938) は青及び赤色に就いて測定を行つてゐる。

(3) *L'Astronomie*, 32, 15, 1918.

が、同年 Rayleigh⁽⁴⁾ は偏光鏡を用ひて撮影することに成功した。夫れに依り夜光には偏光が含まれてゐるが日光に比して極めて僅少であることが知られ、續いて翌年 Dufay^{(5),(6)} も實測して偏光量が全光量の數パーセントを越えぬことを認め、黄道光の偏光よりも少ないことを知つた。尙 Déjardin⁽⁶⁾ も偏光量の僅少なることを認め、夜光の 15% を大氣の散亂層を越えた外方の黄道光物質に歸し、殘餘を大氣の發光に歸してゐる。

以上何れにしても、夜光の偏光は極めて僅少で、大氣の散亂のみでは説明出來ぬことが知れる。尙、實測に従ふと、天頂距離の大なるにつれて夜光は増光するのであるが、其の増光の割合は寫眞的よりも眼視的の方が著しいのであつて、之は日光の散亂では説明出來ぬ所である。

一方に於ては、之より先 1915 年 Slipher⁽⁷⁾ が Lowell 天文臺で銀河の分光寫眞撮影中、偶然 Auroral green line λ 5577 を發見したのであつた*。

§ 2. 1933 年以前の研究

夜光は極めて微弱のため、其のスペクトル研究には集光力の充分大なる分光器を使用する必要がある。従つて Auroral green line の波長測定はなかなか困難な問題で、夫れに成功する迄には相當時日を要した。

Slipher⁽⁷⁾ の最初使用した器械は $F/1.9$ の寫眞玉にプリズム一個を附したもので、分散能は極めて小なる分光寫眞器だつた爲に、Green line の概略波長として 5571 Å と得たのであるが、其の後更にプリズム三個の分光器を作り、100 時間以上の露出から得た 3 枚の原板に依り 5578.05 Å なる値を求めてゐる。

其の後 Babcock⁽⁸⁾ は Fabry-Perot の干涉計を $F/3$ の寫眞器に附して、水銀及びネオン線と比較し、Green line の波長として 5577.350 ± 0.005 Å と求めて居り、此の値が現今一般に採用されてゐるものである。尙 Babcock は Green line の幅として 0.035 Å なる値を求めて居り、普通の極光に於ける Green line と全く一致してゐることが知れたのである。

夜光中に Green line 以外の輻射線(帯)が存在してゐるかとの疑問は、最初から一般に持たれて居た所であつたが、斷然他を壓倒してゐる Green line ですら撮影に困難であつた當時に於ては、容易に他の輻射線の存在を確認し得なかつた。

Rayleigh⁽⁹⁾ は 1922-23 年にプリズム一個に $F/0.9$ といふ極めて明るい寫眞玉を附して百乃至二

(4) Ap. J. Vol. 50, 227, 1919.

(5) J. de phys. et rad. 10, 219 (1920).

(6) Rev. Modern Phys. Vol. 8, 1.

(7) Ap. J. 49, 266 (1919).

(8) Ap. J. 57, 209 (1923).

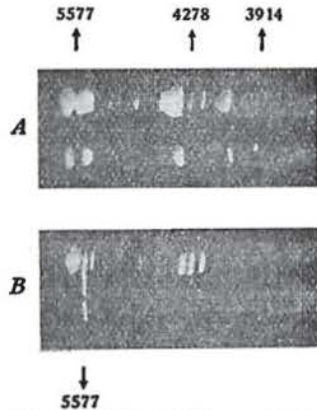
(9) Proc. Roy. Soc. A 103, 45 (1923).

* Green line を最初に夜光中に認めたのは E. Wiechert (Phys. Zs., vol. 3, 1901/02) であつたが Slipher に至つて初めて確認されたのである。

百時間といふ長露出を試みた。此のスペクトルは Green line からフランホーファー線の K までが僅かに 2mm に達したに過ぎぬのであつたが、フランホーファーの H, K 線を含む連続スペクトル以外に、4200 Å 及び 4450 Å 附近に輻射線を見出してゐる。

Dufay⁽⁹⁾ も亦當時 F/3.5 の水晶分光器を使用して、スリットの幅を充分廣くした上、五十乃至百時間の露出に依り連続スペクトルの背景に輻射線を認めることが出来た。斯くして遂に Green line 以外の輻射線を撮影することに成功したのであつた。

4200 及び 4450 Å 附近の輻射線は前記の如く最初 Rayleigh が発見し、續いて Slipher も夫等を認めてゐるが、未だ當時は極光に付きものゝ窒素の輝帯は全然見出されなかつたのである。Rayleigh は此の窒素帯を目的として諸所で夜光の撮影を試みたのであるが、英國の南方では失敗に歸し、只時々極光の出現する Scotland 及び Orkneys に於ては兎に角成功した。Dufay も佛國の南部で北方地平線に向けて露出して寫眞から 3914 Å の強い窒素の輝帯を認めたのであるが、彼は夫れを遠方の電光に歸してゐる。斯様に窒素帯の夜光中に存在することは、當時甚だ疑問であつたので Rayleigh⁽¹⁰⁾ は極光との區別に此の窒素帯を以つてし、次の如く列記してゐる。



寫眞 1. 極光及び夜光のスペクトル
A. 1933 年 8 月 28 日 Louieseville にて Dufay 撮影 (露出 1.5 時間)
B. 1933 年 11 月 7 日 Lyons にて (A) と同じ分光器にて撮影 (露出 11 時間)。

夜 光	極 光
<ol style="list-style-type: none"> Green line のみで窒素帯はないか或は極めて微弱である。 世界中の何處にも大體一樣に現はれて居り、低緯度地方程強度を増す如く思はれる。 空全體に一樣に現はれてゐる。 幾週間も殆んど變化を認めぬ。 	<p>Green line 及び negative bands (窒素) が存在する。</p> <p>高緯度地方に限つて現はれ、時々中緯度にも出現することがある。</p> <p>時々特有の姿を示す。アーチ型、カーテン型等。</p> <p>1 分間或はより以下の短時間中にも形、強度を變化する。</p>

併せて、Sommer⁽¹¹⁾ は 1928 年に Göttingen に於て、Rayleigh 及び Slipher が認めたより遙かに豊富な輻射線を見出し、5130-3578 Å 中に 40 本の輝線及び輝帯を數へ上げてゐるが、此の中 30 本は極光中に見出されるものと同じものと考へられ、尙其の中の 22 本は窒素帯と同定された。然し此の観測は 48 回 (毎回 8-9 時間の露出) 中只の一回に過ぎず、其の爲 Dufay は極光の特に活潑な日の例外に屬するものと考へた。

(10) Proc. Roy. Soc. A 106, 117 (1924).

(11) Zeits. f. Physik 57, 582 (1929).

其の後、Dufay⁽¹²⁾ は更に Lyon 大學天文臺 (+45° 42') で再びプリズム二個を附した $F/1.9$ ($f=90$ mm) の比較的分散能大なる分光器に依り観測を開始した。此の器械は赤から K 線までが約 10 mm にも及ぶものであつたが、22-80 時間の露出に依り青、紫の部に複雑な輻射線を認めることが出来た。彼は更に第二の分光器(分散能は小だが $F/1.25$ の集光力を有す)に依り、夫等の輻射線が連続スペクトルに重なつたものであり、毎回撮影し得ることを知つた。

斯くして青、紫域に於ける輻射線の存在は確認されたのであるが、未だ赤色域に於ては何等得る所がなかつたのである。其の理由の一つとしては、長波長域に於ては分光器の分散能が小なるため輻射線分離が困難なるに依るものと考へられる。

此のことは、Rayleigh 及び Dufay が行つた研究に由つて推察出来る所であつて、適當なフィルターの組合せを使用して夜光を日光に比較すると、夜光は日光より赤の輻射に富んで居ることが知れ、之から赤色域に輻射線の存在することが推量出来るのである。

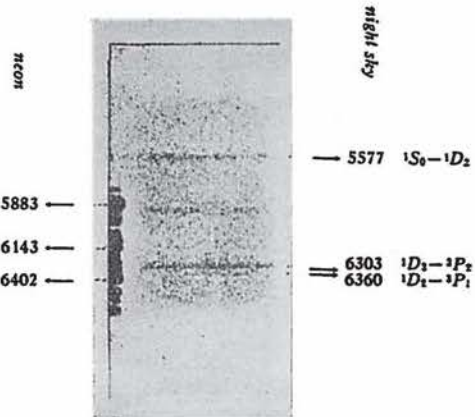
之を裏書する如く、Slipher⁽¹²⁾ は夜光の赤及び橙色の部分に輻射線の群を發見し、夫等の波長を大略次の如く測定してゐる。

λ 5892, 6315, 6530, 6870, 7270 A

更に其の頃、Dufay⁽²⁾ も數本の弱い輝線を綠色部に發見し、又一方 Sommer⁽¹³⁾ も 1932 年に Mt. Wilson で銀河系外星雲研究の爲製作した極めて明るい分光器に依り、5265-7280 A の範圍に 20 本以上の輻射線を見出してゐる。斯様に 5000 A 以上の長波長域に於ても短波域に勝る多數の複雑した輻射線を認めるやうになり、次第に夜光の全貌が明るみに出されて來たのである。

元來、夜光と極光との輻射線の構造は類似點が多いのであるが、兩者の強度には著しい差異が認められる。例へば酸素の中性原子に依る 3 本の輝線 λ 5577, 6300, 6363 の中、後の 2 本は極光に於ては所謂 "Red line" の 1 本として認められるに反し、夜光に於ては Sommer, Slipher 及び Cabannes が認めて居る如く、明かに 2 本に分離して見える(寫眞 2 参照)。

又夜光中には極光に於けると同様に或る種の窒素輝帯が存在してゐることに疑ひないとしても、



寫眞 2. 3 本の中性酸素原子の禁止線
1935 年 4 月 Cabannes 撮影。

(12) Pub. Astronom. Soc. of the Pacific 41, 262 (1929).

(13) Zeits. f. Physik. 77, 374 (1932).

極光の場合窒素の negative bands λ 4278, 3914 Å が整色乾板で酸素の 5577 Å と同程度の強度を示すに反して、夜光に於ては夫等窒素の輝帯は殆んど認められぬのである。

要するに Dufay の観測に従ふと、1933 年迄の所では λ 3900-5100 Å の範囲では夜光中の最も強い輻射線は窒素の positive and negative bands に屬して居らぬことに歸着することになり、先に Rayleigh が夜光と極光との區別に於て列記した對照は、或る程度まで眞實性を保持するものである。

§ 3. 最近に於ける夜光の研究

此の數年來夜光の研究は主として Cabannes 及び Dufay に依り進められて來たと考へられる。之等最近の研究を紹介するに當り、便宜上 2950-8000 Å を長、中、短の三區域に分けて述べて見よう。

(1). λ 5000-8000 Å 域

此の區域の研究は、前にも述べた如く、分散率の小なるため甚だ困難である。此の理由で Cabannes は $F/0.7$ の寫眞玉に充分大なるプリズムを附した極めて明るく、又比較的焦點距離の長い ($f=80$ mm) 分光器を製作した。此の器械に依ると 5265-7280 Å 間が 4.6 mm となり、最大誤差數オングストロム の範囲内で波長測定が可能である。

又輝線、輝帯の區別はマイクロスコープコンパレーター或は自記マイクロホートメーターを利用することに依り可能であり、更に異なる原板のスペクトル構造を相互比較研究し得る程優秀な寫眞が得られた。

Cabannes は此の器械に依り 1933-34 年に Montpellier 及び Pic du Midi に於て撮影した六枚の寫眞(スリットの幅 0.2 mm, 露出 6-17 時間) から長波長域の研究を進めてゐる。之等原板を擴大鏡で調査した所に依ると、連続スペクトルと思はれるものは全然見られず、少數の輝線、輝帯が認められたのみであつたが、更にマイクロホートメーターの記録から 5016-8330 Å の範囲に總計 70 本の輻射線(輝線、輝帯及び明瞭に認め得る山の部分)の存在を確認した(第 1 圖参照)。之等輻射線の各に關して、先に Sommer が測定した結果と對照して見ると、少數の微弱な輻射線を除いては、極めて能く一致して居ることが認められる。

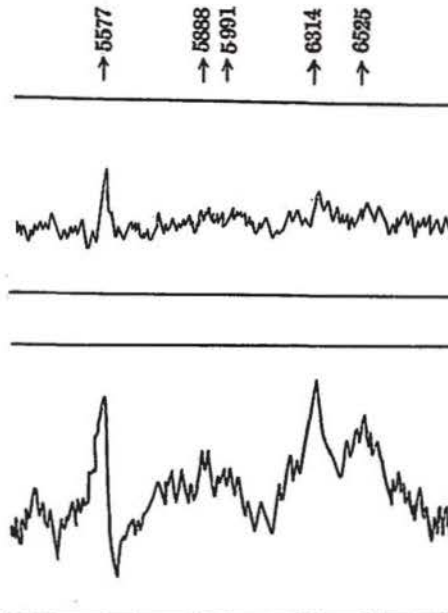
夜光と極光とは短波長域に於ては著しい相違が認められるに反して、此の長波長域に於ては兩者のスペクトルの構造に類似點が多い。此のことは夜光が極光と同様地球大氣の選擇輻射に依ることの一つの證とも考へられよう。

惜 Cabannes は夫等六枚の原板を充分調査した結果、酸素原子の 3 本の forbidden lines $\lambda=5577(2p^1D_2-2p^1S_0)$, $\lambda=6300(2p^3P_2-2p^1D_2)$, $\lambda=6363(2p^3P_1-2p^1D_2)$ 以外の輻射線を次の如く述べてゐる。

(a). 5000-8000 Å の夜光スペクトルの主要放射線は窒素の first positive bands に屬してゐる (第2圖参照).

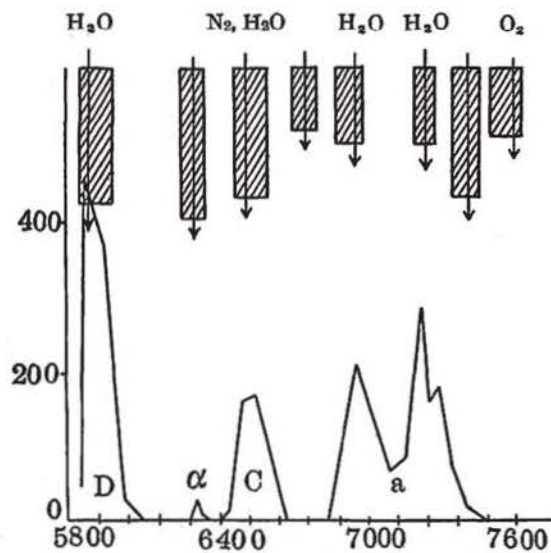
即ち此の區域の夜光放射物質は, 日中に $B(^3\Pi)$ level に勵起された極めて稀薄な窒素分子である.

(b). 夜光中には水蒸氣の principal vibration bands (telluric bands) a, C, α , 及び D が存在する. 第3圖は H_2O bands と夜光の輝帯の對照圖で両者が極めて能く一致してゐること



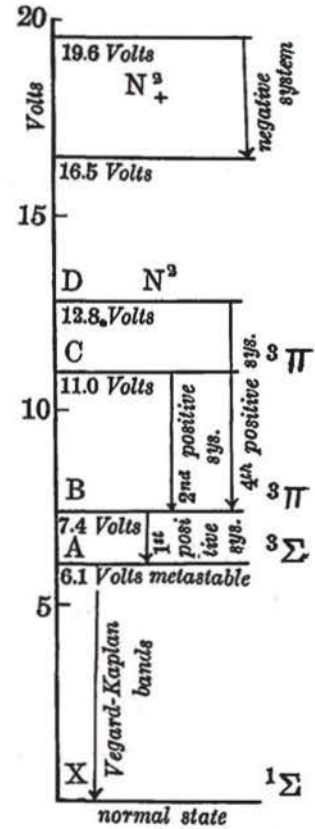
第1圖 Cabannes の撮影したスペクトルのマイクロホートメータに依る記録

一致してゐることが明瞭に窺はれる. 次に水蒸氣, 夜光, 極光の波長を比較して見ると,



第3圖 夜光の輝帯と H_2O bands の比較

對もない分ではない.



第2圖 窒素のエネルギー階段

る. 次に水蒸氣, 夜光, 極光の波長を比較して見ると,

	H_2O	夜光	極光
a	7330-7160	7278-7200	7243
		6966-6877	
C	6600-6430	6607-6468	6608-6440
D	6000-5850	5990-5861	5975-5867

(c). 酸素の telluric bands $A, B, \alpha, \alpha', \alpha''$ (?) も夜光中に輝帯として存在してゐる.

以上の Cabannes の結論は夜光の性質を極めて明瞭に説明したものであるが, 之に對する反

例へば Vegard 及び Tonsberg⁽¹⁴⁾ は Sommer 及び Cabannes が認めてゐる λ 5577 以上の輻射線を観測することに失敗した結果, Cabannes の寫眞はエマルジョンの不規則性に基く虚像ではないかとの疑問を持つたことがある程である。

尙, 最近 Lyon 大學の René Bernard⁽¹⁵⁾ は薄明中にナトリウムの黄色輝線 (平均波長 5893 Å) が短時間存在することを發見した。之は 1937 年の秋 Tromsø 天文臺で観測したもので, 15 時 47 分—15 時 52 分に於ける強度は比較的大であつたが, 此の直後 15 時 53 分—15 時 58 分に撮影した分光寫眞には殆んど認められぬ程度に減少してしまつてゐる。其の後, Saint-Auban (Basses Alpes, France), 等でも此の Na の D 線の観測に成功して居り, 更に Na 層の高さを測定した所, 何れも地上約 60 km と求まつてゐる。

尙, Bernard は夜光中にも Na 線が存在するものと考へ, Fahry-Pérot の干涉計で 11 時間の露出で調査した所, 薄明の場合と全く一致して存在することを認め, D_2 , D_1 の強度比も 2/1 なることが知れた*。

(2) 3800-5000 Å 域

此の波長域に對しては Cabannes 及び Dufay⁽²⁾ は前記の二個の分光器 ($F/1.5$ 及び $F/0.7$) に依り研究を進めてゐる。 $F/0.7$ の分光器は 3900-5000 Å 間が原板上で 5.7 mm に撮影出来る上に, 映像が良好なので 4400 Å 附近では誤差 2 Å 以内をもつて波長測定が可能である。

彼等は此の分光器に依り, Pic du Midi, Montpellier Forcalquier 及び Lyons で 1935 年までに約 100 枚の夜光を撮影し, 夫等原板をコンパレーター及びマイクロホートメーターに依り詳細に研究してゐる。此の研究に於ては 3800-5000 Å の間に約 125 の輻射線を發見し, 此の中少數の根源不明のスペクトル線 (夫等のうちあるものは中性窒素原子の 4153, 4110, 4101 Å 等に同定し得る可能性がある) を除いては次の如き群から成ると考へられてゐる。

- (a). 窒素の first negative system (4708, 4278, 4236, 4199, 3914 Å) 及び second positive system に屬するもの。之等諸輝帯は夜光にあつては極めて微弱であるが, 極光に於ては 3910 Å でさへ 5577 Å に匹敵する程の強度を有する。
- (b). 4700, 4632, 4592, 4345, 4337, 4301, 4259, 4193, 4181, 4160 Å 等の微弱線はアルゴンの線と一致してゐる。
- (c). 彗星の核中に見られる未知線 4724, 4669, 4329, 4314, 4301, 4292, 4068, 4052, 4040,

(14) Zeits. f. Physik 94, 413, (1935).

(15) Nature Vol. 141, 3574 (April 30, 1938).

* 夜光中の Na 輝線に就いての詳細は最近 Ap. J. 88,2 (Sept. 1938). に Cabannes, Dufay, Ganzit が發表してゐる。D 線の起原として流星を考へてゐることは興味を惹く。

4020, 4014, 3988 Å 等に極めて近い輻射線が現はれてゐる。

(d). 以上の三種類は強度が大であるとか、特徴があるといふのではなく、之等以外に例の Rayleigh 及び Slipher に依り発見された 4200, 4450 Å. 附近の輝帯に重なる強い輝線が残されてゐる。之等輝線の説明として仙臺の濱田氏⁽¹⁶⁾は窒素分子の所謂 Goldstein bands を挙げてゐるが Cabannes 及び Dufay の撮つた寫眞では 4200 及び 4450 Å の方に光輝を増して居り、Goldstein bands とは考へられないと Vegard は述べてゐる。

一方 Kaplan は實驗中に發揮せしめた窒素の新しい system 中の 2 本と夫等が一致することを知つた。之等の二輝帯は以前に Vegard がアルゴンと二酸化窒素の混合固體に陰極線をあてた時發した輝帯と一致してゐることも明瞭になり、此の所謂 Vegard-Kaplan bands も夜光中に存することが知れた。

尙、Cabannes 及び Dufay は、以前に撮影した夜光寫眞を全部集めて吟味した結果、3500-5000 Å 中の主要輝帯は、其の大部分が Vegard-Kaplan bands に極めて近いものなることを知り、

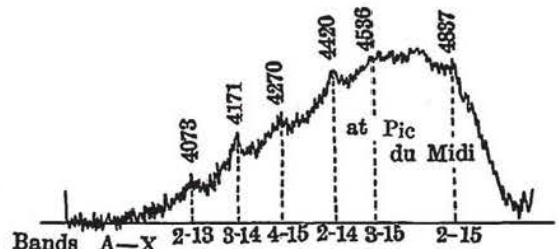
其の主要な輝帯として次の 32 本を列記してゐる。

5324	4768	4603	4382	4252	4073	3936	3669
5062	4719	4536	4363	4220	4046	3889	3582
4962	4650	4493	4321	4171	3979	3855	3501
4838	4616	4425	4270	4144	3950	3769	3426

尙、Cabannes 及び Dufay は Vegard の實驗室での測定を参照して極光中のスペクトルを調査し、4424-4218 Å 中に 13 本の Vegard-Kaplan bands を認めてゐるが、極光に於ては窒素の Second positive and negative bands が極めて強いために、Vegard-Kaplan bands のあるものは分離困難なることを知つた。斯くして極光と夜光との差違は勵起の程度に依るものであつて、夜光中の窒素輝帯に就いては Vegard-Kaplan bands (6.1 volts) が最強で first & second positive system (7.4 & 11.0 volts) が夫れに次ぎ、最後に negative bands (19.6 volts) が微弱ながら存在してゐる。極光に於ける夫等輝帯強度の順は全く逆である。

(3) 3800 Å 以下の波長域

此の區域に就いては、Dufay⁽²⁾ が 1925年に F/3.5 の水晶分光器に依り撮影した寫眞から、3900



第 4 圖 Vegard-Kaplan bands.

(16) Nature 134, 8396 (Dec. 1 1934).

-3000 Å 中に連続スペクトル(約 10 本のフランホーファー線を含む)に重なつた輝線の存在を知り、其の中約 40 本の放射線の波長がフランホーファー線に比較して決定された。之等の多くは窒素の negative and second positive bands に屬して居り、後者の方が光輝大なることは前記の通りである。

此の外、數本の放射線は Morehouse 彗星(1903 C)の核中に見られた輝帯と極めて近いことも知られてゐる。

尙、3500 Å 以下の連続スペクトルは波長の短くなるに従ひ、次第に微弱となつて行くに反して放射線は依然強く残つてゐる。

Dufay に續いて紫外域を研究したのは、Gauzit⁽¹⁷⁾ である。彼は $F/2.0$ の水晶分光器に依り、1933-34 年に Montpellier で 10 枚の寫眞を撮つてゐる。夫れに依ると 2963-4175 Å 中に約 100 本の放射線を見出すことが出来、之等は窒素の negative bands, second positive bands, 中性アルゴン、彗星の核、ヘリウム等で説明してゐる。然し之等は未だ確認されたものではなく、今後の充分なる研究を俟つべきものである。

尙、Gauzit は Hartley bands として知られてゐる大氣中のオゾン吸収帯中に放射線が存在してゐると述べてゐるが、之も今後の問題である。

以上全波長域に互つて要約すれば、夜光中にはフランホーファー線を含む連続スペクトルが存在し、其の強度は長波長域に於て比較的微弱である。此の連続スペクトルを背影として極めて多數の放射線が散在し、中でも中性酸素原子の forbidden lines 5577, 6300, 6363 Å が極めて強度大である。此の外の放射線は大部分窒素の輝帯に屬するもので、Vegard-Kaplan bands ($A \rightarrow X$), first & second positive 及び negative bands が其の主なものである。又長波長域の可視限界邊には酸素の telluric bands 及び水蒸氣の振動輝帯に屬するものがあるらしい。尙、以上の外彗星核中に見られる根源不明の輝帯、アルゴン線、Na の D 線等も存在するかも知れぬ。但し窒素及びヘリウム原子の放射線の存在は甚だ疑問とされてゐる。

§ 4. 夜光の強度變化

夜光特に Green line 附近の強度變化に就いては、其の概略を本要報第 1 卷第 1 號に譲るとして、此處では餘り夫れと重複せぬ程度に紹介する。

夜光は元來微弱のため、其の強度變化を分光器に依り測定することは困難である。

(17) Proc. Roy. Soc. A 109, 428 (1925).

(18) " A 119, 11 (1928).

(19) " A 124, 395 (1929).

(20) Nature, Sept. 8, 1928.

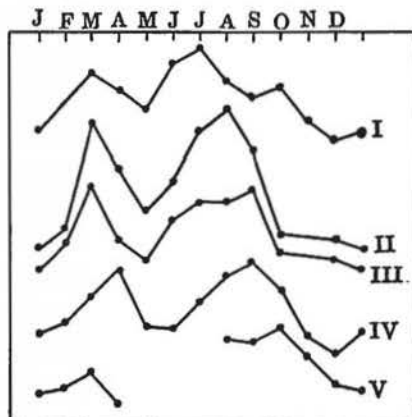
Rayleigh⁽¹⁰⁾⁽¹⁷⁾⁽¹⁸⁾⁽¹⁹⁾⁽²⁰⁾ は 1921 年以來夜光中の特に Green line 附近に就いて、フィルターの組合せを用ひて測定する方法を考案して實測を開始し、尙同様な器械を殆んど世界各地に十數個所配置して共同觀測を行つたのである。此のフィルターの組合せといふのは Wratten No. 21 (淡綠色) と厚い橙色のフィルターを組合せたもので、之等組合せを通過する波長は 5470-6670 Å 間の 200 Å に限られ、Green line 5577 Å を中心としてゐる。

Rayleigh は此のフィルターを通過した夜光と放射能物質 Potassium-Uranyl Sulphate の光輝を直接肉眼にて比較することに依り年變化、永年變化を測定してゐる。Rayleigh 等の測定結果は 1923-27 年まで發表されて居り、年變化としては 12 月に極小があり、3 月及び 10 月に極大が認められてゐる。此の結果は Dufay が 1924-25 年に短波長域に認めた變化と大體一致してゐる。

尙、Rayleigh は觀測の當初から年平均強度が年を追ふて次第に増加してゐることを認めてゐるし、Dufay⁽²⁾ も 1931-32 年に Green line 及び blue & violet region が同時に強度を減少して行くことを認め、1931 年 12 月-32 年 2 月までは連続スペクトルのみしか見出すことが出来なかつたと述べてゐる。Rayleigh 及び Dufay の夫等測定結果からして、夜光は太陽活動週期と一致して強弱を示すことが推量出来るのである。

此の夜光の強度變化に就いては更に Cabannes 及び Dufay が研究を進め、3900-5000 Å の連続スペクトルと容易に分離出来る Vegard-Kaplan bands 中の 4425 及び 4171 Å の強度變化を寫眞測光的に實測した結果、日毎に現はれる強度の不規則變化を除去しても尙相當振幅の大なる緩慢な規則的變化の残ることを見出してゐる。

第 5 圖の II, III は各 λ 4425, 4171 Å の輝帯に就いての上述の結果を圖示したもので、明かに年變化を示してゐる。尙、同圖の I は Dufay が 1924-25 年に全夜光に就いての寫眞觀測から求めたもので、IV は New York で二十五年間に見られた極光の出現頻度を示し、V は 1922-28 年中に Rayleigh の測定した Green line の強度變化を示したものである。此の圖で I, II, III, V が大體同様な變化を示してゐることは、連続スペクトルが強度一定で放射線が同じ様な強度變化を示すと考へることに依り説明出来るし、又 II, III, V の一致からは窒素の Vegard-Kaplan bands と酸素原子の Green line とが同一原因に依り發揮されるものと考へることが出来る。尙又、IV と他の曲線の類似からは極光と夜光とが密接な關係にあることも



第 5 圖 夜光の年變化

領けることになる。

Rayleigh⁽²¹⁾がフィルター使用の器械を世界各地に送つて共同観測を行つた結果に就いては, Spencer Jones と共に整理して發表してゐる。但し Terling (英國, 1923-34 年), Cape (1925-33 年), Canberra (オーストラリヤ, 1925-34 年) 以外では観測期間が短かつた爲除外してある。此の観測方法は前述の 5577 Å を中心とする 270 Å の範圍 (Auroral region) 及び之に隣接した赤 (red region) 及び青 (blue region) の部分のみを通過する如き三種のフィルターに依り, 各フィルターを通過する光輝の比を求めて相互比較したのである。

尙、上記三個所の結果に依ると Rayleigh が先に見出した年變化及び永年變化の外に六ヶ月の明瞭な週期を認めることが出来る。年變化に就いては Terling が最大で, Cape に於て最小となつてゐる。又其の變化は磁氣的或は地理的緯度に無關係の如くで, 又赤道附近では變化が無視出来る程度に小なることが類推される。

尙又、六ヶ月週期の振幅は場所に関係があるらしく、多少の變化を認めることが出来る。之等半年及び一年變化は緩慢な稍不規則な變化と重なつて居るのであつて、特に Auroral region に於て此の不規則變化は著しくなつてゐる。尙、此の不規則變化は太陽黒點の面積に關係ありとも考へられ黒點面積大なる時は振幅も大となる傾向があるらしい。

夜光の強度と地磁氣活動との關係に就いては未だ充分研究されては居らないが, Cape に於ける Auroral region の観測結果に依ると、磁氣嵐と共に強度が増大する傾向を示してゐる。

一日週期の強度變化は、最初 Rayleigh が 1929 年リンデマンの電位計と特に青色に感度の良いルビヂウム光電管とを用ひて測定を行ひ、夜半に於て強度最大となることを認めたが、之と前後して全く獨立に、McLennan⁽²²⁾等もフィルターの組合せ (Rayleigh から借用) に依り Rayleigh と同様な結果を求めてゐる。又ソビエットの Dohrotin, Frank, Čerenkov⁽²³⁾ 及び Chvostikov, Lebedev⁽²⁴⁾等は Green line が夜に入つて約一時間の間に急に光輝を増大し、夜半後一時間位の所に最大があり、夜の終るに従ひ次第に減少することを認めてゐる。Eropkin, Kozirev⁽²⁵⁾も中央アジアで観測し、夜半の Green line の強度は夜明前の二倍にも達して居り、尙夜半の方が夜明より赤色に富んでゐることを認めた。以上の諸氏の観測は何れも夜半に強度最大が存することに一致してゐるが、一方印度の Karandikar 及び Ramanathan⁽²⁶⁾は 1934 年にフィルターと整色乾板を用ひて観測した所に依ると、上と全く反對の結果を得てゐる。即ち各スペクトル域に就いて、夜間の前半は光輝が次第に

(21) Proc. Roy. Soc. A 151, 22 (1935).

(22) Proc. Roy. Soc. A 120, 785 (1928).

(23) Poulkovo Obs. Circular 13, 21 (1935).

(24) Nature 129, 3251 (Feb. 20, 1932).

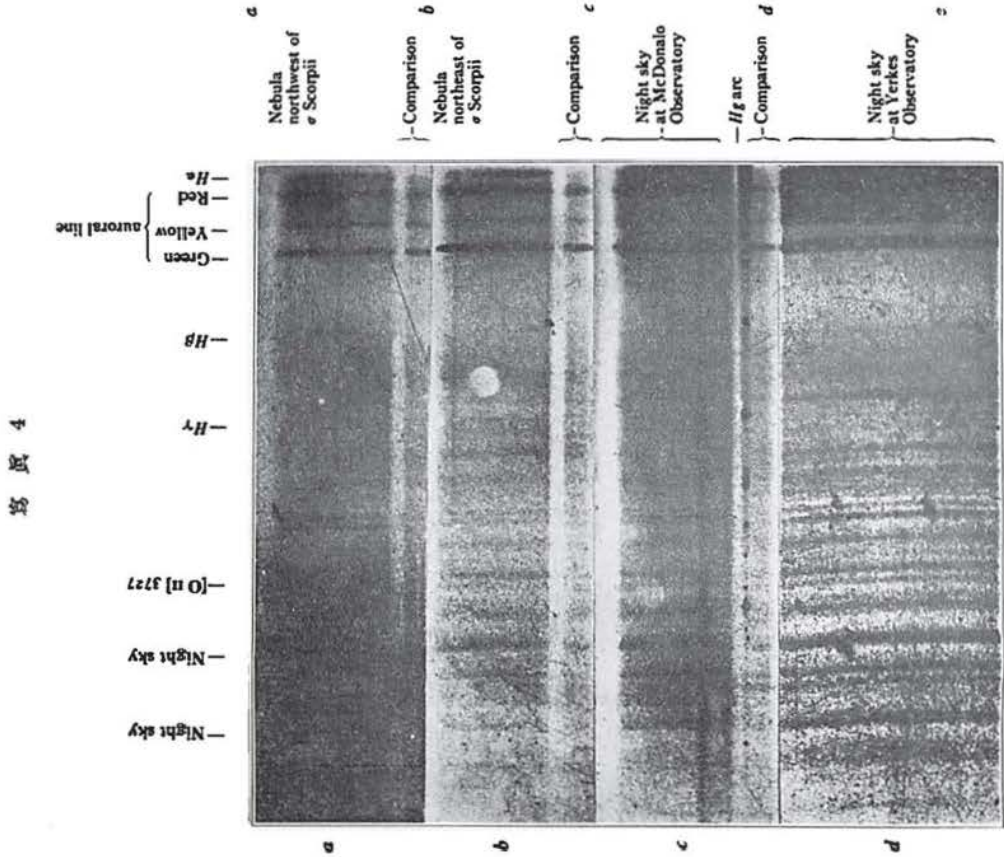
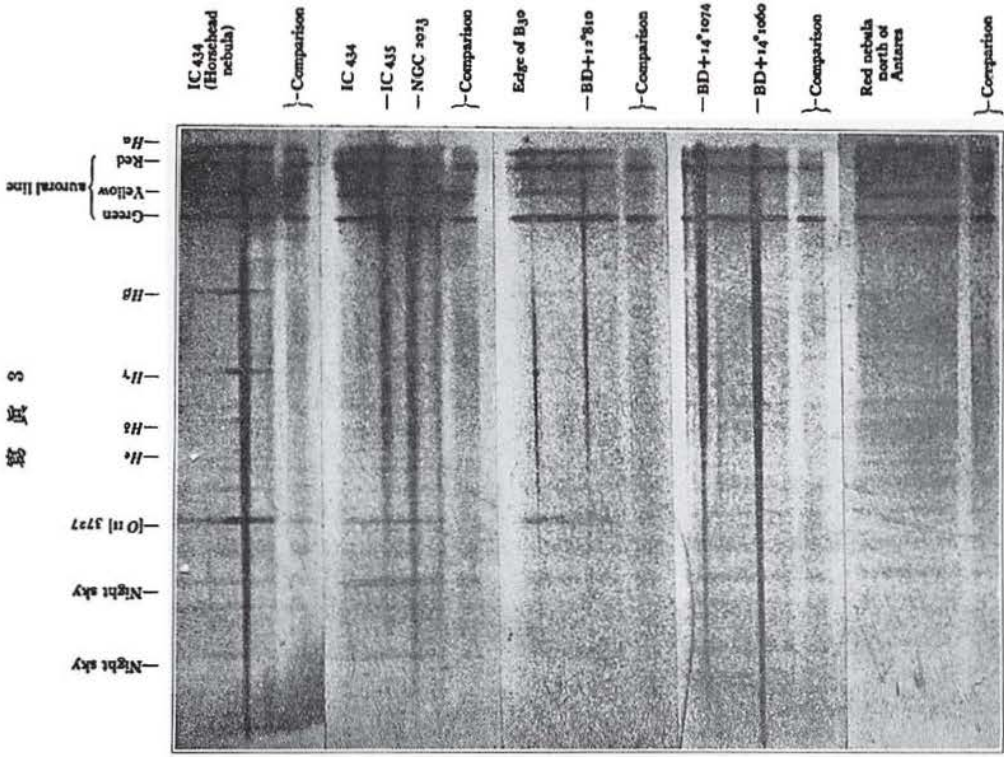


図 4

図 3

減少して、夜半後の二時間位の範圍に極小が起り、其の後は明方に向つて次第に強度を増大するといふのである。

Slipher⁽²⁵⁾ も Flagstaff に於て同様な結果を Green line に就いて認めてゐるが、彼は全部の夜が斯様になるのではないことを述べてゐる。多分一日週期の強度變化は緯度或は其の他の原因に依り斯かる差異が起るのであらう。

更に Lyon 大學の Grandmontage⁽²⁶⁾ は一日週期の變化研究を目的として、セシウム酸化物の光電管とドルザック電位計を用ひ、種々の點で極めて有效な装置を作つた。

1935 年 7 月に觀測を開始したが、それに依ると日没後 5 時間邊に強度極大が存在するとのことである。要するに一日變化は大體夜半頃に極大に達するのであるが、時に依り極光の影響とは考へられない夜光の特別活潑な日のあることが考へられよう。

尙、夜光中の Green line と Red lines との光輝の相對的變化に就いては、後述の如く新星の太氣中に於ては認められてゐた所であるが、最近 Mc Donald 天文臺の Struve, van Biesbroek 及び Elvey⁽²⁶⁾ が瓦斯狀星雲のスペクトル研究の爲製作した特殊分光器(コリメーターの代りに、46m 遠方に設置したアルミニウム鍍金の平面鏡上の幅廣きスリットから反射させた光を; 直接水晶プリズム二個に導く如く作つた分光器) に依り撮影した星雲スペクトル中に夫等の輝線が相互光輝を變化することを認めてゐる。

寫眞 3 の (a), (b) に於ては Red line は Green line より稍、強く思はれるに反し、(c), (d), (e) に於ては Green line の方が強度大である。寫眞 4 の (a) は Mc Donald 天文臺で撮つたもので、(b) は Yerkes 天文臺の Greenstein 及び Henyey が撮つた美事な夜光スペクトルの寫眞であるが (a) は露出 7 時間で (b) は 4 時間であるから連続スペクトルは (a) の方が強いにも拘らず、輝線は (b) に於て強く現はれてゐる。Yerkes 及び Mc Donald 何れに於ても輝線は夜毎に強度の變化するのを認めた。之は季節變化に依るものとも思はれるが、又兩地の緯度の差違 (Yerkes: $+42^{\circ} 34'$; Mc Donald: $+30^{\circ} 40'$) にも關係ありと思はれる。

§ 5. 夜光の理論

近來夜光の研究は大いに進み、夜光現象の機構に就いての説明も一段と進歩して來たのであるが、元來夜光は複雑な現象であるだけに未だ充分釋明されたとは考へられない。

夜光は大別して太陽型の連続スペクトルと極光型發輝スペクトルの二種に分けて考へられる。

連続スペクトルは所謂パーマネント・オーロラに屬しては居らないと考へられるのではあるが、

(25) Mon. Not. Roy. Astro. Soc. 93, 657 (1933).

(26) Ap. J. Vol. 87 No. 5 (June 1938).

其の起源を明かにして置く必要がある。

夜光中の連続スペクトルの大部分は日光の散亂、反射に歸することが出来るのであるが、然らば星から来る連続スペクトルは皆無かといふとさうではない。星に依る部分も極めて少ないには相違ないが存在するのである。然し Seares に依ると各等級に就いての平均色指數は太陽の連続スペクトルに極めて近いので日光に依るものとの區別は困難である。恐らく連続スペクトルの三分の一は星に歸し得るであらう。

尙、此處で連続スペクトルと Green line との強度比に關して Dufay⁽²⁾ が研究してゐるので附記して置く。今、夜光の連続スペクトルのエネルギー曲線を太陽のそれ (6000°k) と等しいと考へると、連続スペクトルは Green line の 2.6-4 倍の範圍であり、夜光のエネルギー曲線が Rayleigh の λ^{-4} 則に従つて日光を散亂するものと考へると 2.5-3.7 倍に相當することになる。何れにしても連続スペクトル (4960-6000 Å) のエネルギーは Green line の約三倍と考へて良いらしい。

大氣に起因する發輝スペクトル (パーマネント・オーロラ) は概括して極光と類似してゐることは前述の通りで、兩者の差異は勵起の度に依るものである。

此のパーマネント・オーロラの發輝層の高さに關する研究は Cabannes 及び Dufay⁽²⁾ が次の如き方法に依り行つてゐる。即ち分光器のスリットの前に天頂と地平線とが同時に入る如く反射鏡を附し、此の裝置で撮影した空の兩部分から來た輻射線の強度を比較した。夫れに依ると何れの輻射線に對しても、天頂より地平線の方が常に強度大で、其の比は約 1.5 となつてゐる。

途中の大氣に依る吸收等も考へねばならぬので簡單には行かぬが、此の方法で求めた結果に依るとパーマネント・オーロラの發光域は地上から 200-300 km となつてゐる。

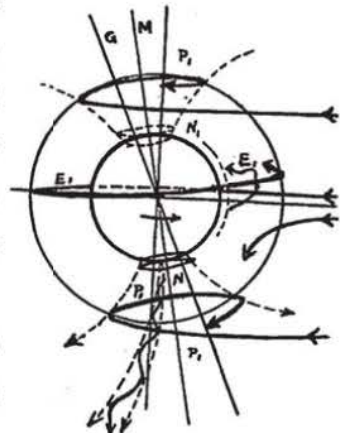
併、極光及びパーマネント・オーロラの分光學的研究からは大氣の上層の組成として酸素及び窒素が其の主要成分であり、又水蒸氣、アルゴン、ナトリウム等も多少存在すると考へねばならなくなつて來た。

極光出現層に水蒸氣の存在することは、カーテン型或は流線型の極光の出現した跡に、日中夫れと同様な形をしたシーラスが同じ位置に見られることから推量出来るのであつて、多分極光出現中に作られた負イオンに水蒸氣が凝結したものと考へられよう。此の外夜光雲 (Störmer に依ると 80 km 上層) の存在を考へると、先づ大氣の上層が酸素、窒素を主成分としてアルゴン、水蒸氣等も存在すると考へて良い様である。

然らばパーマネント・オーロラの發輝線が如何なる機構に依り起されるか。

Dauvillier⁽²⁾ は 1932 年に大氣の上層に起る何れの現象にも好都合な假説を提出した。此の理論は太陽面、特に太陽子午線附近の白斑から光速度より餘り小でない如き (10^{10} electron volts 位のエ

エネルギーに相當する) 大速度で飛び来る電子流を假定してゐるのであつて、太陽コロナ (黄道光はコロナの延長であると考えてゐる) は其の電子流の通過を示すと考へてゐる。之に従ふと黄道光は夏至、冬至に極小となり、又春秋の分點に於て極大となることの説明にもなる。Dauvillier は極光、夜光及び地磁氣、地電流の嵐及び夫等の變化は、何れも此の電子流に依り説明出來ると述べてゐる。今此の電子流が地球に接近して磁場に入ると、極の方では大約地球の半徑と同程度で、赤道方面では其の二倍位の半徑の廻轉運動を始める (第 6 圖参照)。此の状態は恰も地球半徑の二倍の半徑を有する球殻に類似した電子殻を形成してゐる。之等の電子は地球上層に存在する酸素、窒素等の分子を電離して更に二次的電子を作り出す。之等二次的電子は矢張り廻轉は続けるが、其の速度は減じ、從つて兩極の方向に引かれつゝ大氣の下層に突入する。斯くして大氣の比較的下層に突入した電子は、大氣を形成する分子を電離しつつ次第にエネルギーを消費して或る一定の大氣密度の所まで下降すると、其の全エネルギーを失つて了ふといふのである。此の電子の通路は下層に進むに従つて光輝を増大し或る高さの所で急に切斷された如き觀を呈する輻射帯を形成するのであつて、此の輻射は上述の如き突入電子に依り作られたイオンの中和の際發揮されるといふのである。即ち之が極光であつて極光の形等も説明出來る。



第 6 圖 太陽より射出された電子流の運動

尙、直接太陽から飛び來つた極に近い所の一次的電子 (第 6 圖 P_1) は絶えず兩極の上層に輪を畫いて存在し、之が發光して所謂均等性圓弧狀極光となると述べてゐる。此の極光の強度變化は事實太陽の活動及びコロナの分布状態に密接な關係があり、前述の電子流の平均エネルギーを 10^{10} electron volts と假定した状態と能く一致するのである。

然らばパーマメント・オーロラは如何といふと、第 6 圖の E_1 の如き赤道附近の一次的電子に依ると考へられる。此の電子が前と同様に二次的電子を作り、夫等が更に磁力線に沿ふて中緯度に進み、此處でパーマメント・オーロラを形成するのであつて、赤道近くで弱く緯度と共に強度が増大することまで説明出來るといふのである。尙、Green line, 4425, 4171 bands の強度の年變化が低緯度地方に出現する極光の頻度と一致してゐること (第 5 圖参照) も此の説で解決出來ることになる。

夜光の説明に就いての Dauvillier の理論を要約すると、(1) 一次的電子流に依り散亂された日光が黄道光を形成し、(2) 100 km 以上の上層に於ける二次的電子の勵起に依りパーマメント・オーロラが出現するといふことになる。

尙、此の説に従ふと、上層大氣中のオゾンは二次的電子に依り 100km 以上の上層に成生され、之等オゾンは徐々に下降して現在知られてゐる如く地上約 20km 邊に分布すると考へるのである。彼はオゾン發生の紫外線説に反對して次の如く述べてゐる。即ち紫外線に依り成生されたオゾン分子は直ちに紫外線の爲破損されるか、或は 2900 Å 以下の短波輻射線を吸収する結果温度の上昇を來し分解してしまふといふのである。

Dauvillier は二次的電子に依り起るパーマネント・オーロラの複雑な發光機構に關しては何も述べてゐない。

Cabannes⁽²⁷⁾ は Dauvillier 説の二次的電子が窒素の準安定分子及び酸素の準安定原子 1S を作る と假定して次の如き課程を考へてゐる。今 $N_2(A)$ 及び $O(^1S)$ (何れも準安定状態) の數が N_2 及び O (何れも正規状態) の數に比例するとして、Green line 及び Vegard-Kaplan bands の光輝の比から兩者の割合を推定すると、 N_2 は O の約 3 倍と考へられる。又酸素の $2/3$ は二次的電子に依り解離されて原子状態にあるとせねばならない。

大氣の上層に於ける分子密度は稀薄なので $N_2(A)$ の壽命は相當永いのであるが、勿論正規状態に復歸することも可能であり、此の際禁止帯 $A \rightarrow X$ (Vegard-Kaplan bands) が輻射されるものと考へられる。酸素に就いても亦之と同様なことが考へられるのであつて、例の Green line は準安定状態にある 1S_0 及び 1D_2 の間の轉移に依り、又二本の Red lines は準安定状態 1D_2 から 3P_2 及び 3P_1 への復歸に依り各酸素の禁止線が勵起されるのである。比較的下層の大氣に於ては、粒子の衝突に依りエネルギーの相互交換が可能で例へば $O(^1S)$ と $N_2(A)$ 、或は $O(^1S)$ と H_2O が互にエネルギー交換を行つて各窒素の second positive bands 或は水蒸氣の振動スペクトルを發すると考へられる。尙、大氣中のオゾンは直接輻射線を發するとは考へられず、大氣中のオゾンの量の年變化がパーマネント・オーロラの變化と一致せぬことを見ても、先に Sommer が考へた如く、酸素の輝帯がオゾン分子から酸素分子に解離する際發せられるとすることは正しくないことが推量出来る。

以上は Dauvillier の説を基として Cabannes が敷衍したパーマネント・オーロラの發光機構であるが、最近 Chapman は Dauvillier とは全く異なつた假定の下に其の發光機構を考へてゐる。

Chapman⁽²⁷⁾ はパーマネント・オーロラのエネルギーを直射日光に歸して居り、日中日光に依り解離 (電離をも含めて) された酸素分子が其の根源であると考へてゐる。日光中の紫外線は第一に勵起エネルギーに變ずることに疑ひはないが、此の形で蓄積されたエネルギーは極めて短時間に消滅してしまふと考へねばならない。解離されたイオン及び電子の持つ解離エネルギーは、分子 (酸素) から原子に解離された時のエネルギーの二倍或は三倍である。然し中性原子に解離される酸素

(27) Philosophical Magazine Vol. 23. No. 156, 657.

分子の数はイオンの数より遙かに多いと考へられるので、寧ろパーマメント・オーロラのエネルギー源泉を酸素の解離エネルギーに歸した方が良いのである。

偕て、日光 (特に紫外線) に依り解離された酸素分子の二原子は、夫等二個が何れも最低準位 3P にあるか或は一個は 3P で他の一個が勵起状態 1D にある場合の二つを考へることが出来る。然し準安定状態 1D の壽命は精々百秒位と考へられるので、日没と殆んど同時に總ての 1D 原子は 3P 状態に復歸してしまふ、従つて 1D 原子から酸素分子を形成する際放出するエネルギーは 5.1^{volts} となるのであらう。之がパーマメント・オーロラの主なる輻射エネルギーであつて、此の外にもイオンと電子の結合の際に生ずる 12^{volts} 或は夫以上のエネルギーを發する課程も多少行はれてゐよう。

中性酸素原子が結合して分子となるためには、エネルギー及び運動量の保存條件を満すために、第三の粒子 M を必要とする。即ち原子の再結合に依り生ずる解離エネルギーは其の一部は酸素分子及び M 粒子の運動のエネルギーとなり、他の一部は M 粒子の勵起に費されると考へられる。此の M 粒子としては窒素分子或は酸素原子を擧げることが出来るが、上層大氣中に於いては酸素より窒素が遙かに豊富であると考へられるので、窒素分子が M 粒子の役をなすものと思はれる。

窒素分子は其の大部分は最低準位にあると考へられるが、之が勵起されるためには 6.2^{volts} 以上が必要である。然るに最低準位 3P にある二個の酸素原子から生ずるエネルギーは、窒素分子を勵起するに要するエネルギーより少ないのであるから、窒素分子の勵起は此の三粒子の衝突からは起り得るとは考へられぬ。又若し M 粒子として第三の酸素原子 (3P にある) を考へる時は、此の際生ずる解離エネルギー (5.1^{volts}) は何れか一個の原子を 1S 準位 (4.2^{volts}) に勵起せしめた上に更に殘餘のエネルギーは酸素分子の運動 (振動或は廻轉) を可能ならしめる。 1S 準位にある酸素原子が 1D 準位に歸へる際例のパーマメント・オーロラの Green line (5577 \AA) を輻射するのであつて、此の輻射の後には 1D 原子と酸素分子が残ると考へるのである。

1D 原子は更にパーマメント・オーロラ中に存在する Red lines ($6300, 6363 \text{ \AA}$) を輻射して夫等勵起エネルギー (1.96^{volts}) を失ふものとするのであるが、更に 1D 原子の一部は中性酸素原子 3P と衝突して酸素分子を構成して $5.1+1.96=7.1^{volts}$ のエネルギーを生ずるものと考へる。斯くして第三粒子 M が窒素分子である場合にも、其の分子を勵起するに充分なエネルギーが存在することになる。此の結果窒素分子は $A^3\Sigma g$ (6.2^{volts}) 状態に勵起され、更に三粒子衝突の際の運動エネルギーが 0.3^{volts} 程の微量だけ勵起エネルギーに變ずるならば $B^3\Pi$ (7.4^{volts}) の勵起状態に轉移出来るのである。此の $B^3\Pi$ 分子は first positive bands を輻射して $A^3\Sigma g$ に復歸するのであらう。

斯様にして 1D 及び 3P 状態にある酸素原子各一個が結合することに依り勵起された總ての窒素分子は結局は $A^3\Sigma g$ 状態に落ち付くことになる。此の $A^3\Sigma g$ は準安定状態であるが大氣の上層

は密度が小なので勵起エネルギーを全部輻射し終るまでには多少時間がかかるであらう。此の時の輻射がパーマメント・オーロラ中に於て重要な役割をしてゐる Vegard-Kaplan bands である。若し又勵起エネルギーを輻射する前に他の粒子に衝突する時は、其の粒子が最低準位の窒素分子なる場合は衝突に依り大なる變化は起らぬと考へられるが、若し其の粒子が正規状態にある酸素原子なる場合には、此の酸素原子は 1S (4.2^{volts}) 状態に勵起され、其の結果は Green line 5577 Å を發起して 1D 酸素原子を生ずることになる。此の 1D 酸素原子は又 3P 酸素原子と再結合を行ひ、其の際生ずるエネルギーは窒素分子を $A^1\Sigma g$ 状態に勵起することは前述の通りである。

以上の如く Chapman は Vegard-Kaplan bands, first positive bands (何れも窒素分子) 及び酸素原子の Green line, Red lines (二種類の課程あり) 等の輻射機構を巧に説明して居り、夫等以外の輻射線の説明も簡単に出來ると述べて居る。

§ 6. 結 尾

前章に於て述べたパーマメント・オーロラ發光理論以外にも、部分的に發光機構を説明した二三の理論があり、特に A. K. Das⁽²⁸⁾ は中性酸素原子の禁止線を量子論から導いてるが稍、繁雜であるから他の機会に紹介することにする。

尙、極光に見られる輻射スペクトルを實驗室に於て再現せしめる實驗的研究も McLennan, Vegard, Kaplan 其の他に依り近來盛んに行はれ、更に發光スペクトルの再生に迄進んでゐる。

尙、最後に極光及び夜光に見られる酸素の禁止線が他の天體 (新星或は惑星狀星雲) に發見されて居り、實驗室での研究と相俟つて互に比較研究されつゝあるので一言書き添へて置く。

Grottrian は 1931 年に新星中に中性酸素の三本の禁止線が存在することを指摘したが、1934 年のヘルクレス座の新星に於ては夫等三本の輻射線は極めて強く、而も不規則な強度變北を示すことまで明となつた。此の新星に就いては Lyon 天文臺で 1934 年 12 月 30 日から觀測してゐる。夫れに依ると中性酸素の二本の Red lines は三月に強度を増大したが Green line は既に強度は弱まつてしまつた。3 月 11 日には 6300 Å は H_{β} に匹敵する程になり、其の後直ちに H_{α} にも及ぶ強度となつた。

極光及び夜光に於ては Green line (5577 Å) は Red lines (6300, 6360 Å) より遙かに強いのであるが、惑星狀星雲中には時々 Red line のみが認められ Green line がないことが多いのである。従つて新星は地球の上層大氣と惑星狀星雲との中間の状態にあるのではないかと考へられる。

星雲中で Red lines が強いことは原子の衝突が充分少なく、中性原子の最低準位への復歸が容易

(28) Gerlands Beiträge zur Geophysik, Band 49, Heft 3 (1937).

なることを示すもので、之から新星太氣の壓力は地球大氣のそれよりも遙かに小なることを推量出来よう。尙又、上の新星の場合 Red lines ($D \rightarrow P$) が Green line ($S \rightarrow D$) より光輝を次第に増大せしめたことは、新星太氣の壓力が次第に減少したことを示すもので、此の點は新星進化の理論と良く一致してゐるものと思はれる。

限りなき遠方の天體の太氣状態が地球の上層大氣に於けると類似の状態にあると考へられるのも面白い。

以上長々と纏まりのない記事を斷言的に羅列したが、夜光に就いて幾分でも其の概念を得るよすがともなれば幸甚である。

(1938年7月記す)
