

# パーマネント オーロラ $\lambda 5577$ の日變化の觀測

小 岩 井 誠

## Daily Variations in the Intensity of the Auroral Green Light from the Night Sky.

By M. Koiwai.

Abstract:—The observations of Lord Rayleigh, McLennan, Slipher, Dufay, Karandikar & etc. have proved beyond doubt the occurrence of the daily variations in the intensity of the auroral green light from the night sky.

The author has recently constructed a primitive filter camera in order to observe the daily variations in the intensity of the auroral green light in Japan.

The arrangement (Plate I) was made so that a slit could be slowly moved over a photographic plate that was held close up to it. The motion was provided by the fine wire which was connecting with the axis of a clock. The width of the slit was 0.5 cm. and the axis of the clock was controlled so that each point illuminated on the photographic plate was exposed for about 1.5 hours.

The filter used was a kind of the "auroral filters," one of which was a thick didymium glass and the other was a thin yellow-green filter.

The photograph reproduced in (Plate II) shows the results of the testing of this auroral filter by using a electric lamp and a neon. The transmission was practically limited to a range of 400 Å., between  $\lambda 5400$  and  $\lambda 5800$ . As the auroral green line is comparatively more stronger in intensity than the continuous spectrum about that region, the filter is suited for observations on the night sky light corresponding to the auroral green line by using a orthochromatic plate.

The exposures were made with the photographic plate in a horizontal position, so that it was directly exposed to about a hundred square degrees of the sky. Between November 18 and December 29, eleven exposures were made and most of them have indicated variations in the intensity of the green light from the sky of the night.

These variations were classified in two types, one of which was the gradual increase in the intensity towards the midnight and had a maximum at half an hour after midnight (Plate III), and the other type of variations was on the contrary the gradual decrease in the intensity towards the midnight and gave a minimum at the midnight (Plate IV).

The author denominates the former W-type and the latter V-type.

Rayleigh, McLennan and others have observed only the W-type and Karandikar & Ramannathan in India have observed the V-type.

It will be interesting to see if any connection can be established between the daily variations known to occur in the state of ionisation of the upper atmosphere and the variations indicated here in the intensity of the night sky light.

The variations of the electron-density of the  $F_2$ -layer show the secular and seasonal variations, both of which are very similar to the intensity variations of the night sky light.

Now the diurnal variations of the electron-density of the  $F_2$ -layer are generally known to have two types: winter type and summer one. The author alludes to the coincidence of both the W-type variation of the night sky light and the winter type of the variation of the electron-density in the  $F_2$ -layer, and also the V-type variation and the summer type.

## I. 序.

パーマネント オーロラ中特に Auroral green line  $\lambda 5577$  の強度変化に逐年変化、年変化及び日変化の存在することは Rayleigh, Dufay, McLennan 其の他に依り確認されたが、未だ其の詳細は不明で、今後の充分精細な観測を待つより外ない現状にある。

筆者は一應之等諸外國の観測結果を我が國に於ても承認し得るかを確め、更に出来得れば夜光の本質の究明に一步なりとも接近し得れば幸と考へ、1937年の終りから粗末な器械を製作して観測を継続しつゝある次第である。

本誌第1號に報告した分光寫眞器は昨年の中頃から本格的に標準光階を挿入し、主として一年及び逐年変化を目的として観測に使用しつゝある次第である。

今回はフィルターの組合せを使用した極めて原始的な装置を製作して一晩変化を記録することが出来たので其の概要を報告し、更に此の強度変化に關係ありと考へ得る一二の現象に言及したいと思ふ。

## II. 観測装置.

充分明るい分光器が製作し得て、三十分前後の短露出でパーマネント オーロラが撮影出来れば適当な標準光を入れて終夜連続撮影することに依り、Auroral green line 其の他の輝線の強度変化を正確に測定することが出来るのであるが、斯様な分光器の製作は種々なる困難が伴ふので、フィルターの組合せを用ひてパーマネント オーロラ中特に強度の強い Auroral green line 附近のみを通過させる方法は、簡単な割に好結果を齎すと考へられる。

筆者は此のフィルターとしては持合せの稍濃い黄緑色のフィルターと橙色のフィルターの二枚を使用して Auroral green line 附近のみを濾光せしめた。

寫眞 I は此の装置を示すもので、木箱の中央に取枠  $P$  を固定し、此の上にスリット(幅 5 mm.)  $S$  を備へた薄いアルミニウム及びブリキ板  $C$  が滑かに移動し得る如く作つた太い針金のレール  $R$  を載せて置く。スリット  $S$  は寫眞乾板に密着する如くしてあり、氣象自記用ドラム  $D$  の廻轉軸  $A$  に細い針金(ニクロム二重絹巻  $BS 40$ ) を巻きつかしめて  $C$  を繋引し得る如く作つてある。 $A$  軸は六時間一廻轉するので一晩に約二廻轉することになり其の間にスリットは約 3.5 cm. 移動する如く  $A$  の太さを調節した。

此の装置で問題になる點は第一に夫等フィルターの組合せが果して Auroral green line 附近のみを濾光させるかであり、第二は此の簡単な方法で果してスリット  $S$  を一晩中一様に繋引し得るかの二點であるが、夫等の疑問は次に述べる如く大體其の目的を満足することが明瞭となつた。

前述の黄緑色のフィルターは製作所不明のため比較調査した所に依ると、理研のウルトラジン No.

4 (最短通過波長 4800 Å.) に相當するものと考へられ、又橙色のフィルターは理研のウルトラジーン No. 6 (最短通過波長 5300 Å.) を使用した。寫眞 II の 4 は小分光器で撮つた電燈の連続スペクトル (乾板は Agfa Isochrom) で、同中央は上述の二枚のフィルターを重ねた場合のスペクトルである。又同寫眞の 3 はネオンランプを光源としたフィルターの試験成績で、最下が二枚組合せの場合である。尙同寫眞の 2 は汎色乾板を使用して撮つたネオンであるが、之と比較して考へる時は整色乾板に上述の二枚のフィルターを併用する場合は 5400Å.-5800Å. の範囲のみを感光せしめ得ると考へて大過なきものと思はれる。又同寫眞の 5 にても明かな如く Agfa Isochrom 乾板にて撮影したパーマネントオーロラは Auroral green line の附近では、夜光の連続スペクトルと比較して桁違ひに強く殆んど 5577 の緑線のみと考へ得るのであるから、前述のフィルターを使用することに依り Auroral green line のみを通過すると考へ得るのである。

第二の疑問即ちスリット繋引装置に就いては、強風の場合は相當風の影響を認めたので強風の夜は観測を中止した。尙、時計の齒車の不規則運動は勿論此の観測には影響はないが、摩擦に依る不規則運動を考慮して念のためスリットの幅を廣く (5 mm.) し、尙其の一端の中央に幅 0.5 mm. 程度の副スリットを附して (此の部分はフィルターを附せず。此の爲に短時間にて感光す) スリット移動の不規則性を検出する方便とし、又時刻挿入の便に供した。

以上の装置は野天に水平に設置して天頂を中心とする約  $100^\circ$  四方の範囲を抱合するのであるが、外氣に露出せるフィルターには露、霜の附着する恐れが多分にあるので、此の装置の下部に電熱装置を施して加熱する方法を執つた。

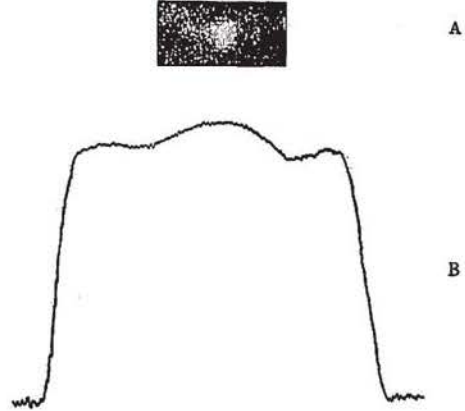
### III. 観測結果

前述の装置に依る観測は昨年 10 月から 12 月の下旬に亘る新月前後の快晴の夜を撰んで計 11 回行はれた。之等の結果は何れも夜光の強度變化を示してゐるが、強度の極大極小の時刻に就いて比較した所、確然と二種類の變化に分類し得ることが明瞭となつた。勿論観測回数少なき恨があるから今回の結果のみにて斷定は出来ぬが、少なくとも夜半附近に於て夜光の強度が極大になる夜と、夫れとは全く逆に同時刻に強度極小となる夜のあることは疑ひの餘地がない。今其の二種類の變化に就き代表的な變化狀況を記述する。

W 型變化。寫眞 III の上は 12 月 26 日-27 日 (月齡 4 日) の記録で、之をマイクロホートメーターにて自記させたものが下である。此の記録を見ると夕刻より次第に強度を減少した夜光は、 $20^h15^m$  前後に強度の極小を示し、其の後再び徐々に増光を開始して  $0^h30^m$  頃極大光輝に達する。此の極大より徐々に減光するが此の減光は  $2^h$  頃迄は比較的急で其の後減光の度合が減少して  $4^h00^m$ - $4^h30^m$  頃に再び極小が起つてゐる。尙注意すべきことは  $20^h$  頃の極小に比し  $4^h$  頃の極小は遙かに強度が

弱いことである。此の種の夜半に極大の存する變化を假に W 型變化と稱へることにする。

英國の Lord Rayleigh,<sup>(1)</sup> 米國の McLennan,<sup>(2)</sup> ソビエトの Dohrotin, Frank,<sup>(3)</sup> Cerenkov; Chvostikov, Lebedev<sup>(4)</sup> 等は何れも此の W 型變化のみを觀測して居り他の變化を認めてゐない。寫眞 V は McLennan の觀測結果を示したもので、今回の筆者の W 型變化と甚だ良く一致して居る。只極大時刻が筆者の結果より約 1 時間遅れて 1.<sup>h</sup>5 頃起つてゐる。



寫眞 V. McLennan の觀測結果。

V 型變化. 筆者の觀測に現はれた他の變化は前記の如く W 型變化とは全く逆の結果を示し、夕刻より

極めて除々に減光した夜光は 23<sup>h</sup> 頃より稍減光度大となり 0.<sup>h</sup>5 頃極小に達し、其の後は明方に向つて相當急に増光を示してゐる。此の種の夜半に極小の起る變化を便宜上 V 型變化と呼ぶことにする。寫眞 IV は此の V 型變化の代表的の記録で 12 月 22 日-23 日(月齡〇日)の變化を示す。V 型變化は印度の Karandikar, Ramanathan<sup>(5)</sup> が觀測したのみで、他地方では決定的には認めて居らぬ。然し Slipher<sup>(6)</sup> 等は夜光の一日變化は一義的に定まつたものでなく、緯度其他の原因に依り變化する可能性のあることを述べてゐる。今回の筆者の觀測に於ては、偶然にも同じ場所に於て短時日の間に兩變化を認めることが出来たのは收穫であつた。

#### IV. 夜光強度變化に就いての考察.

今回の以上の結果は觀測回数が少なく、之を以つて直ちにパーマネント オーロラの日變化を論ずることは尙早の嫌ひはあるが、他の觀測結果を考慮することに依り、少なくとも一日變化に W 型及び V 型兩變化の實在することは疑ひの餘地がない。然らば夫等變化の原因が問題になる。

パーマネント オーロラの原因として Dauvillier<sup>(7)</sup> 説の如く太陽から光速度に匹敵する大速度で飛び來る電子流を考へるにしても、或は又 Chapman<sup>(7)</sup> の如く紫外線に歸するにしても、何れ地上 100-200 km. の上層に於て Auroral green line に就いては結局準安定状態に excite された酸素原

(1) Proc. Roy. Soc., A, vol. 106; vol. 109; vol. 119; vol. 124.

(2) *ibid.*, vol. 120.

(3), (4) Reviews of Modern Phys. vol. 8, 1.

(5) Nature Vol. 129, 3251.

(6) Mthly Not. Roy. Astron. Soc. 93.

(7) 本誌 第 1 卷第 2.3 號

子が最低準位  $3\bar{P}$  に復歸する際及び  $^1S$  から  $^1D$  へ轉移する際に發却されると考へられてゐる。

長い間禁止線として分光學的に其の存在が否定されて來た問題の發揮線  $\lambda 5577$  の實驗室にての再現も、1925 年に McLennan<sup>(8)</sup> が適當な電氣的煽昂を中性原子に與へることに依り得られることを實證した。彼は此の  $\lambda 5577$  の強度は其の時の状態に依り著しく變化することを認めた。<sup>(9)</sup> 例へば純粹なる酸素中では行はれる真空放電に於ては、 $\lambda 5577$  は殆んど存在せぬか、或は酸素分子の帶スペクトルに依り認めることが不可能であつた。尙純粹の希元素例へばヘリウム、ネオン、アルゴン等を一種或は數種を 0.04 氣壓程度入れた真空中に、純粹の酸素を 0.004 氣壓程度混入することに依り  $\lambda 5577$  の強度は著しく増大することを認めてゐる（之は希元素中の放電に於ては電壓降下が甚だ少ない爲と考へられる）。又使用する電流の強さに依りても強度變化を現し、2000 V. 100m A. の場合が最強の輝線を示すことが知れた。

實驗室の之等研究から類推すれば上層大氣中に於ける  $\lambda 5577$  の發光も、大氣の状態に依り相當大なる影響を受けると考へられよう。場合に依りては W 型、V 型兩變化の起る原因を全く上層大氣の溫度、壓力（電子密度）に歸し得るとしても過言ではないと信づる。

最近上層大氣の状態が種々なる方面から究明されて來たが、夜光の發光機構、強度變化を考慮に入れることに依り兩々相待つて次第に完全なる説明が可能なるものと考へる。

上層大氣の組成に就いては極光出現の高さから、數百 km の上層に於ても尙地上と同じ組成を有し、窒素が主成分で次に酸素が位し、微量の水蒸氣の存在も認められてゐる。

溫度に就いても音波の異常傳播、流星、ヘリウムの量、夜光中  $\lambda 5577$  の幅、 $F_2$  電離層の晝夜に於ける高さの變化等から相當高温なることが如れ、夜光發光域の溫度は絶對溫度の  $1000^\circ$  にも達するものと考へられて來た。

夜光  $\lambda 5577$  の發光高度に關しては Cahannes 及び Dufay<sup>(10)</sup> の求めた所に依ると約 200-300 km. となり、Chapman は Rayleigh の  $\lambda 5577$  に關する絶對光輝の測定結果を用ひて酸素原子の數を推量し、之から求めた  $\lambda 5577$  の發光域を 120 km. から 220 km. と求めてゐる。之等兩者の推定は多少異つてゐるが、極光の最大出現高度が 100-200 km. となつてゐるので、夜光に於ても大約同程度と考へて大過なきものと思ふ。此の高さは大約 E, F 兩層の中間に相當する。

楮、夜光の日變化に就ての説明は殆んどないと云つてもよい現狀であるが A.K. Das<sup>(11)</sup> は次の如く考へてゐる。

(8) Roy. Soc. Proc., A, vol. 108.

(9) *ibid.*, vol. 120.

(10) Revs. of Mod. Phys., vol. 8, No. 1.

(11) Gerl. Beitr. Geophys. Band 47; 49.

彼は大氣の上層に於ける中性酸素原子は禁止線を選擇吸収することが出来るといふ假定と、中性酸素原子に依り吸収された line-radiation を熱エネルギーに轉換し得るといふ二つの假定より出發してゐる。第一の假定に對しては、Rowland の太陽スペクトル中に Auroral green line に同定され得る  $\lambda 5577.344$  に淡い吸収線の存することを以つて、夫が大氣中の酸素原子に依るものと考へることに依り裏付けをしてゐる。更に第二の假定は平均壽命が  $10^{-7} \sim 10^{-8}$  秒の程度で collision interval (Chapman に依ると 160 km. 上層にては  $10^{-2} \sim 10^{-3}$  秒) に比し極めて短い普通の煽昇状態に於ては全く不可能であるが、平均壽命が  $10^{-1} \sim 10^{-2}$  秒程度の準安定状態に於ては此の假定は不可能ではない。此の場合は吸収されたエネルギーは運動のエネルギーに轉換されることが出来る。此の運動エネルギーは他の原子と第一種及び第二種の衝突を起す。然しながら温度の低い場合は第一種の衝突は第二種の衝突に比し遙かに少ない。其の爲に準安定原子は其の殆んど全部のエネルギーを運動エネルギーとして失ふことになる。此の運動のエネルギーは事實上は熱に代る。斯くして大氣の温度は上昇するのであるが、温度の上昇と共に第一種の衝突頻度は急激に増大し、遂に或る一定の平衡温度に達して超弾性的衝突に依るエネルギーの轉換は非弾性的衝突の轉換と平衡するであらう。斯くして酸素原子は  $\lambda 2972, \lambda 5577, \lambda 6300, \lambda 6363$  を直接吸収することに依り温度が昇り、遂に平衡温度に達して夫等波長を再發輝すると同様な結果となる。従つて以上の如き轉換は完全な混合状態にある 100 km. 以下の下層に於ては不可能と考へられる。

楮、太陽の没した地球の半面を考へるに、夜に入るに従ひ太陽からの輻射がなくなるから大氣は冷却せねばならぬ。然し星からの輻射\* を考へに入れると、冷却速度は次第に減じ遂に星からの輻射と平衡する温度にまで冷却する。此の時の酸素原子の輻射が夜半に於ける夜光の極小に相當するのである。夜半以後は上述の過程を逆に辿つて次第に強度を増大するといふのである。

以上の Das の説明は上層大氣の高温を解決し、夜光の輻射機構から V 型變化迄も説明出来るが此の考へを直ちに肯定することは出来ぬ。尙 Das は W 型變化に就いては深く言及して居らず只其の可能性もあると述べてゐるに過ぎぬ。

夜光の強度變化に就いては、最近著しく發展した電離層との間に相當關係あることが認められる。E 層及び  $F_1$  層の電子密度は簡単な規則的變化をなし、一日中に於ては正午頃に又一年中に於ては夏季に最大値に達するが其の變化量は顯著ではない。

$F_2$  層に就いては E,  $F_1$  層とは大分趣を異にし、其の電子密度は一年に就いては夏季に極大に達

\* Eddington に依ると星から受ける全輻射は apparent bolometric magnitude 1.0 m の星 2000 個に匹敵する。之は  $2.3 \times 10^{-2}$  ergs/cm<sup>2</sup>/sec. に相當し之等星からの輻射の割合を 1800° の星から 5%, 1200° の星から 10%, 9000° の星から 20%, 6000° の星から 40%, 3000° の星から 25% と假定して平衡温度を計算すると 100—200 km. 上層の夜間に於ける平衡温度は 1000° 程度となる。

せず寧ろ 10 月及び 3 月頃極大を示してゐる。此の電子密度の變化と Rayleigh 其の他の観測した Auroral green line の強度變化とを比較すると甚だ良く對應して居り、此の點大いに注意すべき所である。又逐年變化に就いても  $F_2$  層の電離密度の變化は太陽活動に應じて變ずること、夜光の變化と甚だ良く一致するのを認める。

$F_2$  層の電子密度の一日變化に關しては甚だ複雑で夏季と冬季で極大極小の時刻が異なることが知られてゐる。例へば英國に於ける冬季と夏季との平均に就いて見ると、夏季に就いては 10<sup>h</sup> 及び 20<sup>h</sup> 頃極大を示し 3<sup>h</sup> 頃極小に達する。此の極小を取へて意味付ければ夜光の V 型變化に相當すると見られる。冬季に就いては正午附近に極大を示すが、1<sup>h</sup> 頃にも小なる極大を認むることが出来る。特に夜間に於ける電子密度の變化は圖に示す如く其の形に於ても甚だ良く夜光の W 型變化に共通點を見ることが出来るのである。\*

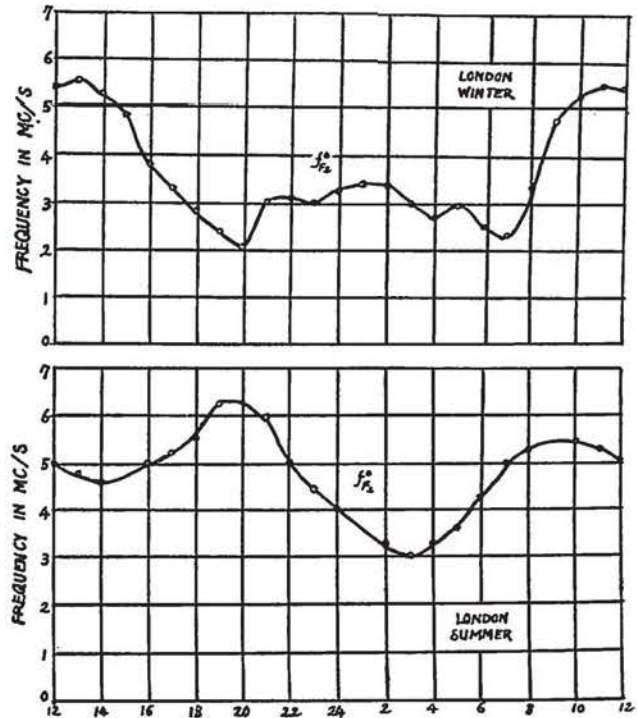
此の英國に於ける  $F_2$  層に關する變化は他の中緯度地方でも大體同様な傾向を持つことが知られてゐる。

高緯度地方に於ては地磁氣、極光の影響を受け易く比較的擾亂状態が起り易いが、大體に於ては中緯度地方と同様な傾向を有すると言つてゐる。

尚、低緯度地方に於ける結果に就いては 8<sup>h</sup> 及び 16<sup>h</sup> 頃に極大値を取り夜半附近に極小を現はしてゐること恰も中緯度地方に於ける夏季變化と酷似した變化を認めてゐる。

楮、若し  $F_2$  層の電子密度が夜光に關係ありと假定するならば、此の中緯度地方の冬季の變化は夜光の W 型變化を起し、又  $F_2$  層の夏型變化が夜光の V 型變化を惹起すると考へられる

$F_2$  電離層臨界周波数の時間的變化  
(最大電子密度は臨界周波数の自乗に正比例する)



\* 此の夜光の W 型變化が冬季に於ける  $F$  層の電子密度と相應してゐること及び夜光の年變化、永年變化が  $F$  層の電子密度の季節變化及び永年變化に似てゐることに就いては Martyn, Pulley も Proc. Roy. Soc. A. vol., 154 に述べてゐる。

のである。従つて此の假定よりすれば低緯度地方に屬する印度の Karandikar が観測した夜光の V 型變化は容易に説明出來よう。

尙、一地方にても大氣の状態が時に依り夏型或は冬型になることも起り得ないとは考へられないであらう。

尙磁氣嵐、雷雨、流星等に関係ありと考へられてゐる Sporadic E 層及び大氣中の空電現象等に就いても考慮する必要があると信づるが之等は今後に残された問題である。

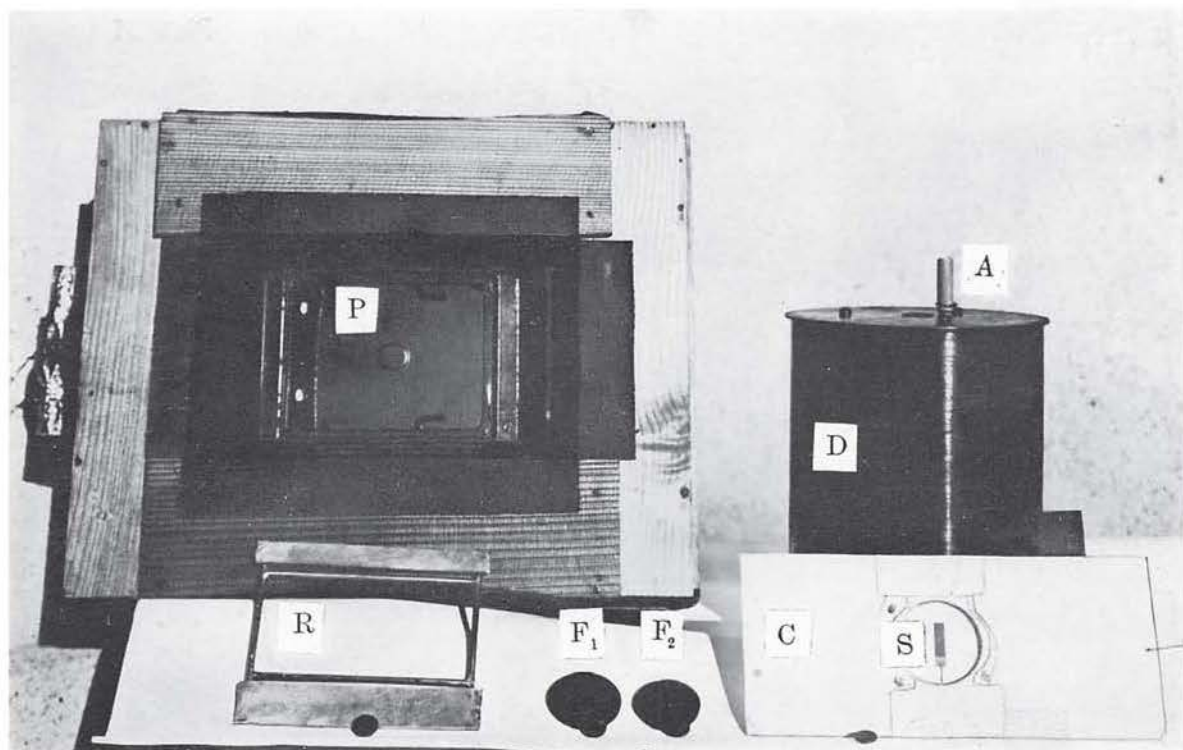
## V. 結 語.

今回の夜光 (特に Auroral green line) 強度の一晩變化観測は回数が少なく、期間も短いので材料不足の感が多いが、少なくとも夜光變化に W 型と V 型の兩變化の存することが明となり、尙此の變化が  $F_2$  電離層の電子密度に於ける、冬季及び夏季の一日變化に類似の變化を示すことが認められた。此のことは  $F_2$  層電子密度の逐年及び一年變化が夜光強度の各變化に應じて變化することを考へれば、一日變化に就いても關係ありと考へるのが自然の如く思はれる。今後も夜光の一晩變化観測を繼續する考へであるが、夫等を  $F_2$  層の電子密度と一晩毎に對照出來れば甚だ面白いと思ふ。

終りに臨み此の観測に種々御便宜を給はつた今道所長及びマイクロホートメーターの使用を快く許下された理化學研究所の御厚意を深く感謝する次第である。

(柿岡地磁観測所にて)





寫真 I

