

# 目 次

---

## 論 叢

畑 中 武 夫：惑星状星雲の光 .....	1
-----------------------	---

## 資 料

無線報時修正値 .....	9
---------------	---

## 天 象 欄

昭和十九年Ⅲ月の太陽・月及び惑星 .....	10
東京（三鷹）に於ける星の掩蔽（Ⅲ月Ⅳ月）.....	10
流 星 群（Ⅲ月—Ⅴ月）.....	11
變 光 星（Ⅲ月—Ⅴ月）.....	11

## 惑星状星雲の光

畑 中 武 夫

1. 我々が天體から得る信號は光のみであると今は考へられてゐる。少くとも現在の我々は光といふ暗號を解讀して宇宙を捕捉しなければならぬ。光でまづ知り得る事は天體の位置、運動、形狀等で、銀河は星の集りであるとか、お互にぐるぐる廻りあつてゐる二重星があるとか、月面は凹凸がはげしいとかいふのは直接望遠鏡でしらべられる事である。けれども我々はこれで満足しない。光を捉へて分光して見なければ氣がすまない。宵の明星の清らかな光を分光してみれば金星の大氣が濃厚な炭酸ガスで出来てゐる事がわかる。木星や土星にはメタンやアムモニアがある事が知れた。光冠とも呼ばれる太陽のコロナに鐵やニッケルが而も非常に高温の場合にしか出来ぬやうな有様で存在するといふ説明もコロナの分光から得られた假説の一つである。

光は波である。分光するとは光を波長によつて分けることで波長の順に並べて之をスペクトル(光譜)と云ふ。我々はこのスペクトルを見てその天體の様子を知ることが出来る。金星のスペクトルの中の炭酸ガスの波長に相當するところを見れば上のやうな結論が得られる。木星や土星のスペクトル中の不明の部分が實はメタンやアムモニアであるといふことは地球上でのメタンやアムモニアのスペクトルと一致するからである。

かうしてスペクトルを検査すれば一體どんな元素が、あるひはどんな化合物があるのかといふことが分る。云はゞ天體の化學分析が出来る。その結果天體を通じて水素——最も軽い最も簡単な元素——が一番多いと云ふ事が分かり、他の元素の多寡の順も大體決められてゐる。荒い云ひ方をすれば天體は、少くとも見えるところは、水素のみ

から成り、ごく少量の不純物としてヘリウムその他の元素を含むものと云へる。例へば太陽の表面では他のあらゆる元素を加へ合せたものに此べて水素は約 1 萬倍だといふ。

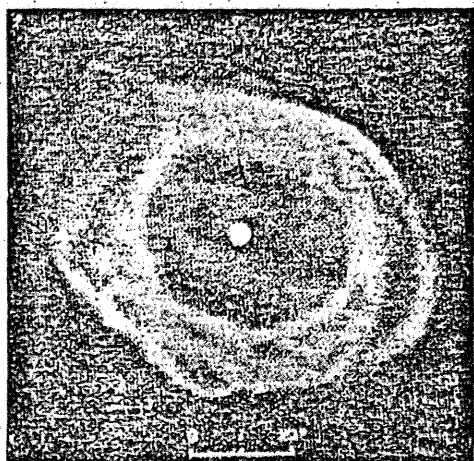
それならば太陽の光を分析してスペクトルを作れば殆んど全部水素の線で埋り他の元素の線などは痕跡が見えるといふ程度になつてゐるのか云ふとそうではない。スペクトル中一面に猛烈に多くの線があつてそれがすべて他の元素によるもの、水素の線は全部で 30 本も見えるかどうかといふ有様である。それは何故であるか。

一言で云へばそれは物理的條件によるのである。我々の觀測し得る範囲内で出るスペクトルの線が偶々弱くなるやうな物理的狀態にあれば水素の線も弱くなる。少い元素でも場合によつては案外スペクトルに強く現れることもあらう。スペクトルの強弱で元素の多寡を判斷してはならぬから、我々の分光化學分析は仲よ樂ではない。實驗室での化學分析ならば發光させる條件を一定に出来るであらうが、手の届かぬ天體ではさうは行かぬ。天體そのものの狀態が分らないのである。然し物は考へやうである。元素の多寡に強弱の伴はぬスペクトルを逆に利用すれば、手の届かぬ天體の狀態を推定することも出来さうである。そのためは一體スペクトルはどうして出来るのか、どんな場合に強くなるのかといふやうな理論的研究がなければならぬ。しかし更にそれに先立つて原子分子についての地球上での實驗や理論が確立してゐなければならぬ。最近二十年間に發展した量子力學は簡単な原子・分子に関する理論的研究を大いに進めた。これに伴つてそれらの原子・分子に関する天體の分析は進歩を見せてゐる。嘗つて本誌第 34 卷で紹介された太陽の研究はストレー

\* 東京帝大理學部天文學教室

ムグレンによつて行はれた一つの典例である。今ここで瞥見しようとするのは最近数年間に行はれた惑星状星雲に関する研究で、理論物理学の基礎に立ち、新しい観測の材料を用ひて得られた天体物理学の成果の一つである。

2. 第1圖はある惑星状星雲のスケッチである。そこには環状の殻が見える。そしてその中心と少しきところに星がある。この星と周囲の殻とは偶然同じ方向に見えたのでなくて、本質的な関係があるのだといふことは多くの寫眞から分る。殻はドーナツを眞横から見たやうなものではなくて厚味のあるシャボン玉のやうなものである。形は色々あるが理論を考へる手始めには完全に圓い球殻であると考へよう。その丁度中心に星がゐるとして之を中心星と呼ぶ。



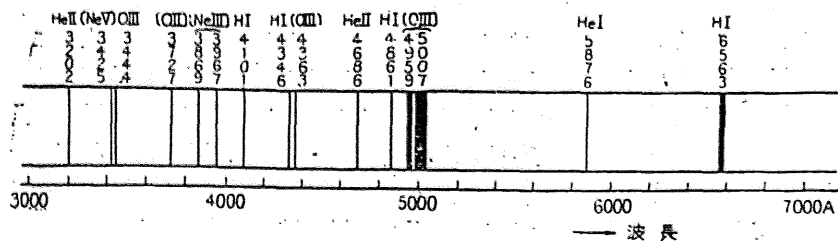
第1圖 惑星状星雲 NGC 6720

惑星状星雲は勿論我が銀河系の一員であつて、そこまでの距離は大體知られてゐる。従つて實際の球殻の大きさが推算出来るのであるが、球殻の半径、即ち中心星から球殻までの距離は大凡  $10^{12}$  杆、約一光年の  $1/6$  で、太陽系の一番外側の冥王星が  $6 \cdot 10^9$  杆太陽から離れてゐるのに比べると大

體の見當がつく。もし中心星に何かの異状が起つても球殻に變化が現れるのに二ヶ月経つてからである。球殻全體としては膨れる傾向にあるらしいから、はじめは中心星の爆發か何かで噴き出されたものかも知れない。しかし起源は推測されるだけである。

この惑星状星雲の光を直接寫眞に撮るのではなく分光すればどのやうなスペクトルが得られるのであろうか。實驗室で行はれるやうに細隙を使つて分光すれば數多の輝線が現れる。もし天文獨特の無細隙分光器を使へば星雲の像が各輝線毎に出来る。細隙を用ひた典型的な一つの例を第2圖に表はした。説明のために理想化したものだから省略した線もある。又中心星のスペクトルも略してある。

圖の上に書いたのはスペクトル線の波長である。光も電波も本體は同じでたゞ波の山と山の間の長さ、即ち波長が違ふだけである。ラヂオの波長は數百米、短波は數十米、超短波は數米位の波長をもつ。眼に見える光はずつと波長が短いから米や極では不便である。普通には1種の1億分の一の長さをオングストロームと決めて  $\text{\AA}$  あるひは  $A$  で表はす。圖に 5007 と書いたのはこの線の波長が 5007  $\text{\AA}$ 、従つて1種の約2萬分の一の波長をもつ光と云ふ意味で、我々は簡単に 5007 の線などと呼んでゐる。その上に書いたのはその光を出す原子の名で H, He, O, Ne は勿論水素、ヘリウム、酸素、ネオンの記號、I とか III とかの意味は I は中性原子、II は一度電離した原子、... を示す。このやうなスペクトル線がどの原子から生じたものであるかを決定するまでには數知れぬ多くの努力が捧げられたことを銘記せねばならぬ。最も著しい例は太陽のコロナである。発見されて以來約七十年、未解決の闇にあつたコロナ



第2圖 惑星状星雲の典型的なスペクトル

の輝線の起源を探るために試みられた多くの研究は嘗つて本誌第31巻に紹介した。そしてその後にはじめて満足に近い測定がエドレーンに

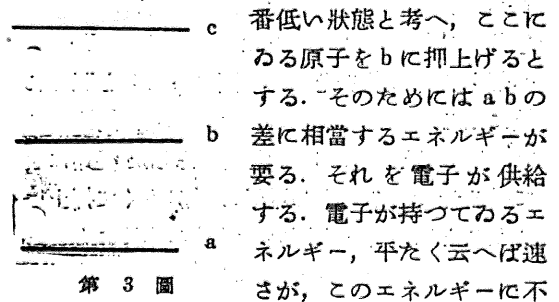
よつて與へられた。その要點は第 34 卷第 12 號に紹介されてゐる。

3. 第 2 圖は強弱種々の線である。そのうちで [O III] と記された 5007 及 4959 の線が最も強く次は H I の各線である。惑星狀星雲には OIII が多いのであろうか、それとも OIII が特に強く見えるのであろうか。一體水素と酸素、又他の元素はどのやうな割合で存在するのであろうか。結論を先きに云つてしまへば水素が斷然他を壓して多く、その次は酸素ではなくてヘリウム、更に一段下つて酸素その他の原子の順である。つまり酸素の線が強く見えるのは化學的成分として多いのではなく、強く見えるやうな物理的條件にあるからである。數で云へば 1 立方極の中に水素原子が約 1 萬、ヘリウム原子が約百、酸素等は一體一つ位、總計して原子の數はやはり 1 立方極當り約 1 萬個であらう。我々が毎日吸つてゐる空氣は同じく 1 立方極中に窒素分子と酸素分子合せて  $10^{19}$  個ある。たとへその百萬分の一の眞空を得たとしても  $10^{13}$  個の分子が存在する。それでも 1 萬に比べれば  $10^9$  倍、即ち十億倍であるから星雲中の稀薄の度は想像を絶してゐる。しかし星と星の間の空間に至つては恐らく 1 立方極に 1 個乃至 10 個位、島宇宙の島宇宙の間の空間はその千分の一位の稀薄度であるから、想像を絶して稀薄な惑星狀星雲もまだものがあると云はねばならぬ。 $(10^2=100, 10^{10}=10000000000)$  等)

4. さてこのやうな稀薄な氣體中で、且溫度が相當高いと分子は分れて殆んどすべて原子になつてしまつてゐる。しかも中心にある星が猛烈に高温であるからその影響で原子は一つ乃至數個の電子を手離して OIII とか NeV とかの有様になつてゐる。中心星の溫度は低いものでも 2 萬度、高いのになると 8 萬度と稱する。灼熱の吾が太陽が六千度であるから、ここにも想像を絶するものがある。星雲は中心星から  $10^{12}$  軒も離れてゐるから格別熱い程でもないと思はれやう。地球が太陽の熱で温まるやうに考へれば冷たい位である。地球の表面に太陽から來るエネルギーを測るやうにすればさうである。しかし原子から飛出した電子の運動は飛出させる原因となつた中心星の溫度を反映するから電子は非常に高温になる。星が 8 萬度な

ら電子の溫度は 5 萬度にもなる。ところが次に述べるやうな仕事を電子がするから電子の運動は減少する。云ひ換へると電子が冷える。だから中心星からえらい溫度をもらつて飛出して、星雲中で仕事をして冷えるからその差引勘定で結局 1 萬度位の溫度に落付く。それは溫度を貰ふ量とする仕事の量とで理論的にも豫想出来るのだが、後に述べる別の方法でも觀測と理論から 1 萬度近くの値が得られてゐる。

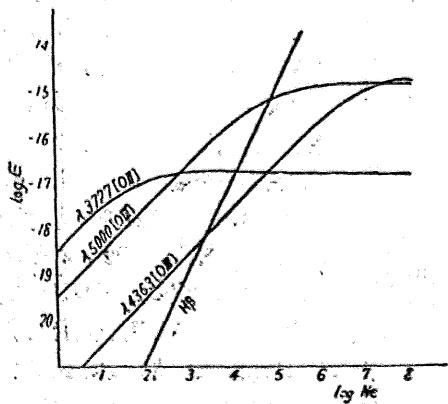
5. 電子が仕事をして冷えるといふのはどのやうな仕事であるかと云へば、それは原子を少し高い状態に押上げるためである。普通原子でも分子でもエネルギー的に云つて一番低い状態が最も安定で、なるべく其處に居ようとする。これを次々のより高い状態に押上げるには、それだけのエネルギーを與へねばならぬ。原子の状態といふのは勝手には取れなく、ある決つた準位がある。建物には一階とか二階とか決つた階があつて、無暗な階數がないやうなものである。例へば圖の a が一



第 3 圖

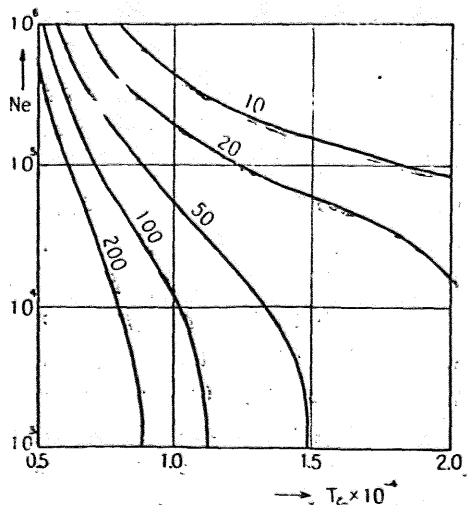
或ひは HII と結合して再び HI になつたり千變萬化の働きをする。はじめ系出した時は中心星の温度を反映した速度分布をしてゐるが、やがて變化をうけるであらう。この現象を追求することは電子速度分布の問題であつて、星雲のみならず放電管の内部等にも重要な題目になつてゐる。

6. OIII の状態は上の方は澤山あるけれど下の方には三つだけ離れたのがある。丁度圖の a, b, c のやうである。a に在る原子は電子によつて b へ、又 c へ押上げられる。b へ上つた原子はどうなるか。それは再び a へ落ちるかも知れず或ひは更に電子に押上げられて c まで上るかも知れぬ。a へ落ちるのは高いところから低い所へ下るのだから、エネルギーが餘る。餘つたエネルギーは光となつて出、或ひは電子にエネルギーを與へて光にならぬこともある。光になると丁度このエネルギーの差だけの波長をもつ。之が最も強く見えてゐる 5007 と 4959 である。この二つは同じ性質のものだから、假りに 5000 と呼ぼう。a から c へ、或ひは b から c へ押上げられた電子は、光を出し又出さずに b 或ひは a へ落ちる。c から b へ落ちる時に出る光は第 2 圖に 4363 と記された線になる。c → a は紫外部になるから観測されない。5000 及び 4363 は大體からした徑路によつて出る光である。もし電子の数が少くて押上げられぬことは兩者とも弱い。電子が非常に多いときは非常に強くなりさうだが、上げる方が多くなるとそれに伴つて光を出さずに落ちる数も多くなるからそれ程強くはならない。結局ある一定の強さ以上にはなれぬ。即ち飽和強度に達する。だか



第 4 圖 スペクトル線の強さと  $N_e$

ら電子の数を横軸にとり出る光を縦軸にとれば電子の数の増すにつれての 5000 の強さは第 4 圖のやうになる。又 4363 も同じやうで圖の 4363 の曲線になる。ここで面白い事は電子の数  $N_e$  が少いよりは 5000 が強く  $N_e$  が大になればかへつて 4363 の方が強くなることである。だからこの二つの線の比は  $N_e$  によつて種々にかはるから、逆に云へば二線の強さの比は  $N_e$  の見當をあたへることになる。ところで上の議論は電子の温度が決まつた場合の事である。電子の温度が上げれば速い電子つまりエネルギーの大きな電子が多くなるから a から c まで上げ得る電子が増す。従つて c → b であるところの 4363 が強くなるであらう。かうして考へると 5000 と 4363 の比は  $N_e$  のみで決まるのではなくて電子温度 ( $T_e$ ) にも支配されてゐることがわかる。だから例へばこの兩者の比の値が 100 といふ場合は  $T_e$  が  $1000^\circ$  のときは  $N_e$  がいくら、 $T_e$  が  $1500^\circ$  の時は  $N_e$  いくらとなる筈であつて、 $T_e$  と  $N_e$  の兩方を同時に考へなければならぬ。之をよく表はすために第 5 圖のやうに一方に  $T_e$ 、他方に  $N_e$  をとつて、その中に  $I(5000)/I(4363)=100$  の位置を表はす曲線を書いておくのがよい。だからある星雲を観測して  $I(5000)/I(4363)=100$  と出たならば、その星雲の  $T_e$  と  $N_e$  はこの曲線で示された組の値でなければならぬことが云へる。だからもしこの他に観測からきまる値があつてそれがやはりこの

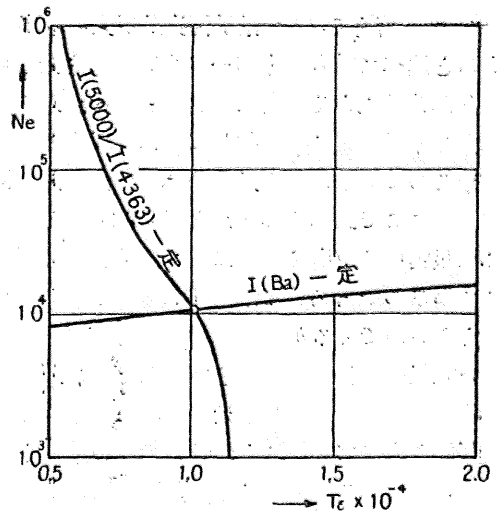


第 5 圖  $I(5000)/I(4363)$  一定の曲線

$N_e$  と  $T_e$  の圖形内の曲線になるならば、その曲線と第5圖の  $I(5000)/I(4363)$  の曲線の交りが丁度その星雲の  $T_e$  と  $N_e$  を決定することになる。第二の曲線として何を使へばよいか。

7. 一つの案としては他の原子の同じやうな線を使つて OIII と同じやうな曲線を使へばよいとも思はれる。第2圖に見える NeIII の 3869 と 3967 は丁度 OIII の 5007 と 4959 のやうに第3圖の b a に相當するものである。ところが 4363 に相當する c→b で出る 3343 といふ線は近くの他の線にまぎれやすい缺點がある上に、電子が衝突して b や c へ押し上げる確率が未だわからないから現在は使へない。又もしそれが出来たとしても、多分第5圖と同じ傾向の圖になるであらう。だから OIII の曲線と他の原子の同様な曲線の交りはうまく決らぬかも知れぬから方法として拙いかも知れぬ。

全然違ふ方法としては水素を用ひることが出来る。第2圖の水素の線 6563, 4861, 4346, 4101, ... の線の系列の終りに第2圖には簡単のために除いてあるが丁度 3600 Å 附近から波長の短い方にのびた線でない連続した光が出る。これは電離した水素即ち HII が電子と結びついてある状態の HI になる時に出るものでバルマー連続スペクトルと呼ばれてゐる。この連続スペクトル全體の強さは電子の數  $N_e$  が増せば増すが、電子温度  $T_e$  が増せば減少する傾向にある。但し前に述べたやうに水素が断然多く且殆んど電離してゐるから電子の數は HII の數に等しいと考へてよいかから  $N_e^2$  に比例する。だからバルマー連続スペクトルの強度  $I(Ba)$  は第5圖とは違ふらしいと豫想される。今觀測から  $I(Ba)$  がいくら、 $I(5000)/I(4363)$  がいくらかと分つたとしたらその時の  $T_e$  と  $N_e$  の求め方は第6圖のやうにそれぞれが一定の値をもつ曲線をこの圖上に描いて交りを探ればよい。この方法は非常にうまく決めるやうに見える。だが一つの缺點はバルマー連続スペクトルの強度  $I(Ba)$  といふのは我々の見た強さではなくて星雲の中での強さである。だから星雲までの距離とか、星雲の大きさの判定が不確かならそれがこの圖の誤差になる。兎に角この圖で見られるやうに  $I(Ba)$  の方は殆んど  $T_e$  によらない。だから



第6圖  $N_e$  と  $T_e$  の決定

ら簡單には  $T_e$  を概略の値、例へば  $1000^\circ$  とかを知つておけば  $N_e$  がすぐ決まるといふ便利はある。之に反して  $I(5000)/I(4363)$  の方は  $N_e$  が相當大きいかわ相當小さければ  $N_e$  にならないことがわかる。 $N_e$  の極端な場合には之を使ふ。第4圖の左端及び右端で  $I(5000)$  と  $I(4363)$  が平行になつてゐるのがこれに當る。第6圖のやうな手続きで求めてみると概略の値として大抵の惑星状星雲は

$$T_e = 10^4, \quad N_e = 10^4 = N(\text{HII})$$

位であることがわかつた。 $N_e$  が  $N(\text{HII})$  に等しいことは水素が壓倒的に多いこと、並びに殆んど電離してゐることから云へる。

$I(Ba)$  の我々の觀測した強さから星雲内での本當の強さを求めたと同じ手順をすれば  $I(5000)$  の星雲内の強さも分る筈である。既に  $T_e$  と  $N_e$  を上のやうな方法で求め得たとすれば  $I(5000)$  の値からそこにある OIII 原子全體の數  $N(\text{OIII})$  を求めることは、第3圖のやうな押し上げたり落ちたりする過程を計算して出来ることになる。この原理でやつてみると大體の程度で

$$N(\text{OIII}) = 1$$

となる。

8. 第3圖の過程の説明で氣が付かれたかどうか、例へばそのうちの a と b の間に行はれる過程は

$$a \rightarrow b \text{ (上げる) } \quad \text{電子衝突}$$

b→a (落ちる) 電子衝突及び光の放出であると述べて前者の方が一つ少い。即ち光を伴ふ現象が缺けてゐる。實は丁度うまい光が来れば a に在る原子はそれを吸収して b にまで上ることが出来るのである。その光は b→a で出る光と同じ波長、ここで云へば 5007 と 4959 であるが、これは星雲中で放出され現に最も強く我々に観測されてゐるのである。何故それを吸収して a→b をやらないのであるか。

この過程の吸収係数が小さいからである。

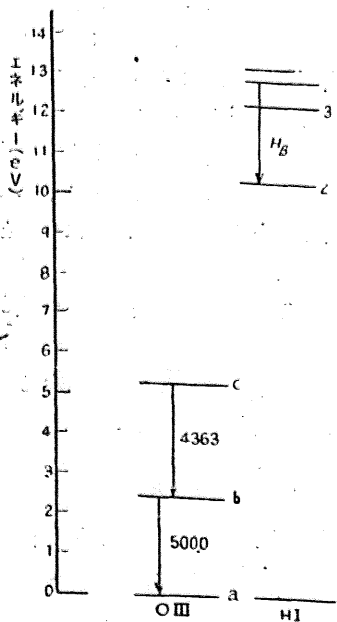
吸収係数とその逆向きの光の放出の確率は一義的な関係があつて、これらの光の放出の確率も實は小さいのである。従つて次の問題は、この小さい確率で放出される 5000 の二線が何故かくも強く観測されるかといふことである。

5000 の線、或ひはこれと同じやうな種類の線は普通の實驗室では伸と見られない。スペクトル線を出す一般の規則があつて、その規則によればこのやうな線は出てはいけないうことになつてゐる。それでこれらを禁制線と名付けた。第2圖に [OIII] と [ ] をつけたのはこの意味である。尤も禁制されてゐるとは荒い云ひ方であつて、本當は弱く出てもいいのであつて量子力學的に詳しく計算するとその放出の確率が分かる。禁制されて

ゐない普通の線ならば、その確率が  $10^6$  (sec<sup>-1</sup>) であるのに、例へば 4363 は  $2.7$ (sec<sup>-1</sup>) 又 5007 と 4959 は合せて 0.022 である。ひどく禁制されたものである。だからもし普通の線 (4→2) を出す始めの状態を第7圖で4とすれば4にゐる原子の數と b にゐる原子の數が同じなら 4→2 の方が  $10^6$  倍も又  $10^{10}$  倍も強くなる。惑星状星雲のやうに逆に禁制線の方が強いのは4状態の數が非常に少いことを暗示する。事實その通りである。

比較の例に HI の線を取らう。第2圖に 4861 と記された線はバルマー系列線のうちの Hβ と呼ばれる有名な線であるが、水素原子の第4状態から第2状態へ落ちる時に出る線である。第7圖の右側は HI のエネルギー状態を、左側は OIII のそれを比較してあらはす。一番下にゐる原子をこの第4状態まで押上げるには大變なエネルギーを要する。そのやうなエネルギーを持つた電子は實に少い。それに水素は多くても殆んど電子と別れて HII になつてゐるから HI の最低状態にゐる數は少い。だから水素は多いけれど HI の高い状態にある數は少いから、HI の線は弱い。

HI の第4状態が出来る他の過程は既に電離して HII となつた水素が再び電子と結合して上から第4状態へ來ることである。結合したのが直接第4状態になることもあらうし、ずつと上の状態に一旦止まつて以後順次に落ちて來ることもあらう。出来る割合は HI の數と  $N_e$  と電子温度で決まるから上述のやうに  $N(\text{HII})=N_e$  とすれば兎に角第4状態の HII 數従つてそれから 4→2 で出て來る Hβ の強さがわかる。今  $N_e=N(\text{HII})$  とし  $N(\text{OIII})=1$  としてある  $T_e$  に対して  $I(\text{H}\beta)$  と  $I(5000)$  及び  $I(4363)$  を書いてみると  $N_e$  の變化に伴ふ有様は前の第4圖のやうになる。 $N_e$  の少いときに Hβ の弱いこと、 $N_e$  が多くなれば前に云つたやうなわけで  $I(5000)$ 、 $I(4363)$  が飽和してしまふからある値以上強くならぬこと、 $N_e$  が多いときは  $I(5000)$  等が弱くなるのではないが  $I(\text{H}\beta)$  が非常に強くなつてしまふから  $I(5000)$  等が見えなくなること等がわかる。この 5000 は實に惑星状星雲の最も強い線であり、起源の不明な時代には「星雲線」とも呼ばれたのである。第4圖をみると惑星状星雲の  $N_e=10^4$  で  $I(5000)$



第7圖 OIII と HI のエネルギー状態

が一番強い線になつてゐる。星雲でこの 5000 の禁制線が最も強いのは特く強くなるやうな条件にあるからではない。他の線が弱すぎるのである。

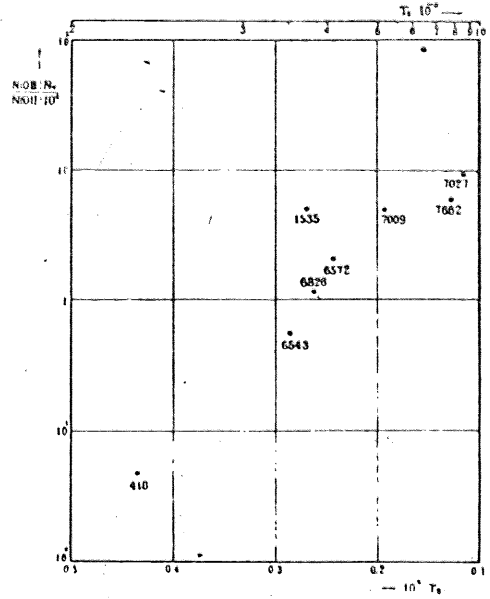
9. このやうに  $N_e$  が大になれば禁制線の強さそれ自身は變らないのだが、禁制されてゐない他の普通線が強くなるから結局弱く見えて来る。 $N_e$  が小になればどうか。第 4 圖から分かるやうにある程度の  $N_e$  を境として急激に強さが減つてゐる。 $N_e$  が 1/100 になれば強さも亦 1/100 になつてゐる。今まで 1 時間の露出で寫眞がとれたものが 100 時間かけなければならなくなる。そのやうな微光な天體は觀測されにくい。最も普通に觀測される天體は I (5000) の曲線が角をつけて曲るあたりの  $N_e$  に相當するらしいことが分る。OIII の 5000 では大體これが  $N_e=10^4$  で、前にもとめた値に一致する。

OIII の 4363 で同じことをやると、今度の  $N_e$  は  $10^6$  位になる。だから惑星状星雲よりもすこし  $N_e$  の大きな天體で 4363 が強く見えることが豫想される。これは實は新星の後期状態に相當し、觀測によれば 4363 の強いことが知れてゐる。

第 2 圖にある [OII] の 3727 はやはり禁制線の一つである。この有様を書くとき第 4 圖中に示したやうになつてゐて、曲り角の  $N_e$  は  $10$  又は  $10^2$  位。觀測によれば星と星の間の空間で 3727 が最も強く觀測されてゐるが、それはこの説明によれば偶然のことではない。

10. 又この 3727 を使へば惑星状星雲中の OII 原子の数が分る。大體は  $N(OII)=10^{-1}$  位であるが星雲の種類によつては OIII より多いのもあり、ずつと少ないものもある。即ち OIII の数と OII の数を比較すれば星雲の中には 10 倍位のものもあり 1/10 位のものもある。その排列は全くでたらめではなく、よく調べてみれば中心星の温度ときれいな関係をもつてゐることがわかる。中心星の温度の高いもの程 OIII の方が多い。それは當然のことで、中心星の温度が高いものは極紫外部の輻射が多いから、電子を飛出させるエネルギーが多いわけである。

もつと詳しく云へば酸素には OI, OII, OIII, OIV, …… の各電離状態があるのだから、これをすつかり考へて、



第 8 圖 OIII と OII (點の傍の數字は星雲の番號を示す)



といふ一聯の電離と結合をまとめて調べなければならぬ。幸ひ近頃我國でこの過程の物理的方面が理論的に求められたから、それを天體に應用してみると殆んどすべての惑星状星雲で酸素の 90% 以上が OIII になつてゐることがわかつた。[OIII] の強いことは  $N_e$  の曲り角云々といふ説明で一應確からしいが更に電離の理論からも裏打ちされたわけである。

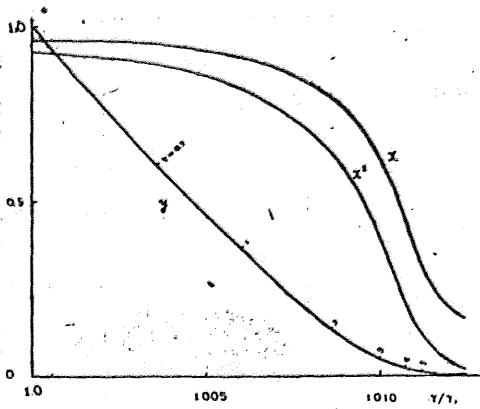
序でに星と星の間の空間をしらべると、概して OII が多い傾向にある。ここでも  $N_e$  と電離の両者が調和してゐるのである。

11. はじめにかへつて第 2 圖を見ると HeII の線が見える。これは HI と同じく普通線で、電子が HeIII といふ原子と結合して落ちて出る線である。HI の線から HII の数がわかるやうに、HeII の線からは HeIII の数がわかる。又この圖には唯一つしか書かないが HeI の線もあるからそれを使ふと HeII の数がわかる。例によつて大きさの程度だけを書く

$N(HeIII)=10, N(HeII)=10^2$  又は  $10$  位であつて、その数の比はやはり OIII と OII の時のやうに中心星の温度に關係がある。

12. 無細隙スペクトルによれば HeII のスペク





第9圖 水素の電離状態の變化  
 $x \cdot N(H) = N(HII)$

トルで見える環が非常に小さい。OIIなどは外側がかへつて強い。詳細に調べてみると一つの星雲の中でも場所によつて見えるスペクトルが違ふ。電離度の違ふこと、電子数の違ふこと、電子温度の違ふことなどがその原因であらう。

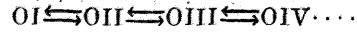
このやうな星雲の中の電離の有様を内側から外側へと計算してみることは星雲の様子を調べる大きな手掛りになる。一番簡単な水素が數で一番多いから、問題の手始めは水素から調べればよい。

例題として水素原子の數がどこでも一定な星雲があるとして、その切口の有様を書いてみると、ある温度、密度の場合には第9圖のやうになる。縦軸は % を表はし、 $x$  の曲線が電離度を示す。内側では 90% 以上 HII で  $r/r_1 = 1.010$  附近で急に様子が變り HI が増して来る。だから HII と  $N_0$  が結合して出すスペクトルはこのあたりで急激に減少する、たとひ外側まで水素が同じ量あつたとしても、見たところは無いやうに見える。あるひは星雲の観測をして逆に見えない原子の分布まで分るやうになるかも知れぬ。

電離度の急激な變化は何に原因するのであるか。水素を電離するのは、丁度水素を電離出来るだけ又それ以上のエネルギーをもつ紫外線による。星雲の内側はそれを受けてよく電離してゐる。星雲の層を進むにつれてその紫外線が水素を電離することに使はれて漸次減少する。従つて電離の度が悪くなるから HII よりも HI が増える。HI がこの紫外線を吸収して電離されるのであるから外側に進めば紫外線の減少度が益々激し

くなる。それが HI の急激な増加になつて現はれたのである。

同じやうなことは HeI, HeII, HeIII でも出来る。特に



は電離状態が多いので複雑ではあるが観測と比べる上で重要である。酸素の電離で更に面白いのは OI → OII になるエネルギーが HI → HII になるエネルギーに全くと云つていい位等しいことである。電離がすべて極紫外部の吸収で起るなら、HI を電離させる光と、OI を電離をさせる光は同じ光である。だから酸素の電離は酸素だけで我不知焉として解く譯には行かぬ。HII が減つて HI が増えるところは OI, OII の間にも影響がある筈である。且つ電子は殆んど水素の電離で出来てゐるから電子の數を通して亦影響がある。酸素の電離度の計算は意外な結果に導く。

13. 惑星状星雲のスペクトルは大抵上にのべたことで説明される。あとは電離度の確率や、電子が原子を押し上げる確率が量子力学で計算されれば逐次明かになるであらう。

たゞ一つ上にのべたのと性質の違ふ線がある。第2圖の左の方にある 3444 の OIII の線である。實は他にまだあるのだが省いた。これは 5000 や 4363 のやうな禁制線ではなく普通の線である。この線が出るのはある偶然からである。HeII の最も強い極紫外部の線が、OIII の低い状態からずつと上の方へ押し上げる波長に一致してゐるから起るのである。云はゞ螢光現象である。ある光で原子を押し上げさせて、別の光を發光させるのである。だから天然にきめられた偶然のために出てゐる光であつて、OIII の數が多いといふことを示すのではない。

この現象もやや詳細に考へてみれば簡単に螢光とのみ片付けてはならぬ。譬へるならば振動數の非常に近い二つの振子を吊しておいて一方に絶えず力を加へて動かし、それと次の振子をゆるい糸で結んでおけば第二の振子も動きはじめるやうなものであらう。第一の振子は HeII, 第二のは OIII. HeII に力を加へるのは、中心星のエネルギーが加はること、ゆるい糸でつなぐのは光の放出、吸収である。螢光といふよりは光學的交互作

用と云ふ方が適當だと思はれる。

14. 惑星状星雲の先を分光して得るスペクトルは大約第2圖のやうな暗線であるが、この解讀は以上のやうにして解決される。繰返して云へば、スペクトルの出方は

- (i) 普通線が電離した原子と電子の再結合で、又は電子衝突で押上げられて出る
- (ii) 電子衝突で押上げられた結果禁制線が出る
- (iii) 波長の一致から光學的交互作用で出る

以上の三つである。

又その機構をもとにすれば星雲内の物理的状態も分り、又各原子の數も推定出来る。その概況は上に述べたやうであるが詳しい事は下記の諸論説、更に進んではそれらに引用された原論文を參

照されたい。

惑星状星雲に関する東大萩原教授、京大宮本博士等の研究は世界各國の學界にあつて獨歩の地位を占めるものである。又、東大山内・小谷兩教授等の原子物理學に於ける研究は大きな貢獻と云はねばならない。本稿は主として我國における研究を紹介したものである。

参考文献

萩原 雄祐, 稀薄天體の量子物理學, 物理學講演集 (3) (昭和 18 年)  
 萩原 雄祐, 稀薄天體内の電子速度分布, 科學 第 13 卷第 10 號 (昭和 18 年)  
 山内 恭彦, 電離層と惑星状星雲, 科學 第 11 卷第 10 號 (昭和 16 年)  
 畑中 武夫, 惑星状星雲のスペクトルに關する二三の問題, 日本數學物理學會誌 第 16 卷第 8 號 (昭和 17 年)

資 料

無線報時修正値

東京無線局 (船橋) を經て東京天文臺より放送した昨年 12 月中の報時修正値は次の通りである。

學用報時は報時定刻 (毎日 11 時 21 時 23 時) の 5 分前即ち 55 分より 0 分までの 5 分間に 306 個の等間隔の信號を發信するが此の修正値は、それら 306 個の信號の内約 30 個の信號を測定し平均したるもので全信號

の中央に於ける修正値に相當せるものである。

分報時は 1 分より 3 分まで毎分 0 秒より半秒間の信號を發信するがその修正値は學用報時のものと殆ど同様である。

次の表中 (+) は遅れすぎを (-) は早すぎを示す。(東京天文臺)

1943	11 <sup>h</sup>	21 <sup>h</sup>	23 <sup>h</sup>	1943	11 <sup>h</sup>	21 <sup>h</sup>	23 <sup>h</sup>
XII	學用報時	學用報時	學用報時	XII	學用報時	學用報時	學用報時
1	- .089	+ .014	+ .066	16	+ .038	+ .053	+ .047
2	+ .033	- .056	- .034	17	+ .105	+ .113	+ .012
3	- .059	- .036	- .007	18	+ .146	+ .168	+ .164
4	- .030	- .053	- .040	19	- .059	- .069	- .081
5	+ .013	- .027	- .019	20	- .032		
6	+ .001	+ .035	+ .029	21		+ .025	+ .006
7	+ .036	+ .027	+ .023	22	- .067	- .047	- .063
8	- .095	- .125	- .126	23	- .017	- .020	- .032
9	- .099	- .240	- .240	24	- .043	+ .011	- .023
10	- .064	- .037	- .021	25	+ .011	+ .017	- .021
11	- .037	- .012	+ .016	26	- .071	- .008	- .095
12	- .042	- .051	- .020	27	- .038	- .047	
13	- .024	+ .032	+ .067	28	- .023	+	- .100
14	+ .013	+ .032	+ .051	29	- .042	- .070	- .089
15	+ .058	+ .080	+ .084	30	- .043		
				31		- .107	- .123

天 象 欄

(III 月 分)

太陽 月初 赤經  $22^h47^m$  赤緯  $-7^{\circ}42'$  にて水瓶座の東部を發し月半には赤緯  $23^{\circ}39'$  赤緯  $-2^{\circ}16'$  にて水瓶座より魚座へ移り月末には赤經  $0^h37^m$ 、赤緯  $+4^{\circ}1'$  にて魚座の中央部に於てこの月の運行を終る。この間 21 日午前 2 時 49 分には太陽は春分點を通過し赤緯は負より正へ移り、黄經は  $360^{\circ}$  を突破して再び  $0^{\circ}$  となる。日出、日入は月初、月半、月末に對して夫々  $6^m2^s$  と  $17^h36^m$ 、 $6^h53^m$  と  $17^h48^m$ 、 $6^h30^m$  と  $16^h1^m$  で日出は早く日入は晩くなる。從つて晝間の長さはどしどし延びる一方で月初、月半、月末の各々に對して夫々 11 時間 24 分、11 時間 53 分、12 時間 32 分である。Ⅲ月 17 日には晝間夜間共殆ど全く 12 時間づゝでこの日の事を晝夜平分日と言ふ。この様な日はⅡ月 26 日又は 27 日に於ても起る。即ち春分の 4 日前、秋分の 4 日後である。扱て夜明、日暮の時刻は月初では  $5^h40^m$  と  $18^h5^m$ 、月末では  $4^h57^m$  と  $18^h34^m$ 、日出入の方位は正東正西から月初には南へ  $8^{\circ}$  であつたのが月末には北へ  $6^{\circ}$  となる。視半徑は月初  $16'10''$  から月末  $16'2''$  と次第に減じ太陽までの距離は段々遠くなる。

月 2 日  $5^h40^m$  牡牛座中央にて上弦にて、10 日  $9^h28^m$  獅子座東南部に於て望、18 日  $5^h5^m$  蛇遺座と射手座との境界線附近に於て下弦、24 日  $20^h36^m$  魚座と鯨座との間で朔、月末 31 日  $21^h34^m$  雙子座中央にて再び上弦となりてこの月の運行を終る。上記の日に於ける月出時刻は  $11^h1^m$ 、 $17^h56^m$ 、 $0^h40^m$ 、 $5^h40^m$ 、 $10^h27^m$  月入時刻は  $0^h23^m$ 、 $6^h13^m$ 、 $10^h56^m$ 、 $17^h36^m$ 、 $0^h8^m$  である。

水星 月初山羊座と水瓶座との中間にあり月末魚座の東南部へ移る。即ち月初は太陽の西南約  $10^{\circ}$  の所にあつたのが月末には東南約  $10^{\circ}$  の點へ進んでゐる。その間 18 日には水星は太陽を追越して東へ進出する。この日太陽と水星との黄經が同一となる、即ち外合である。光度は月初  $-0.4$ 、外合の日附近では  $-1.5$  月末には  $-1.1$

等級と計算されるが孰れにせよ太陽に近寄りすぎて月半ばは觀望には不適當である。外合日を境として曉の星から昏の星へと移り行く。

金星 山羊座の中央より水瓶座の東部へ移る。依然として曉の明星で光度  $-3.4$  等級、太陽の西南  $30^{\circ}$  に位置してゐる、併乍らその距離は次第に狹まりⅦ月 27 日外合となる。

火星 牡牛座中央を發し月末に双子座に這入る。日没後天頂近くに赤く輝いてゐる。光度は次第に減じ月初  $+0.7$  等級から月末  $+1.2$  等級になる。13 日には上弦となる。視半徑  $3''$ 。

木星 獅子座の東部を逆行中。光度  $-2.0$  等級夜半天頂に近く觀望に好い、視半徑  $20''$ 。

土星 牡牛座の東部にあり、月初火星の西  $3^{\circ}$  にあるが 7 日までに火星に追付かれ以後は火星の西にある。7 日には火星との距離は  $3^{\circ}$  餘である。光度  $+0.2$  等級、視半徑  $8''$ 。

天王星 牡牛座の中央部にあり順行中。光度 6 等級、視半徑  $1.9''$ 。

海王星 乙女座西部を逆行中(Ⅶ月順行に轉ずる)光度 7.7 等級、視半徑  $1.2''$ 。24 日、衝となり地球との距離 20.26 天文單位である。

フルト一 蟹座中央や、東寄にある。光度 14 等級。

星座 午後 8 時東京に於て子午線を通過する主な星座群は雙子座大犬座小犬座、アルゴ座などである。

木量の掩蔽 Ⅲ月 7 日夕方に木星が月のために掩蔽される。その豫報値は下の如くである。

落入	Ⅲ月 7 日	$18^h19.8^m$	P = $58^{\circ}$	V = $111^{\circ}$
			a = $-0.97$	b = $+3.80$
出現	Ⅲ月 7 日	$19^h12.6^m$	P = $330^{\circ}$	V = $25^{\circ}$
			a = $-1.59$	b = $-2.09$

同様な現象はⅡ月にも起つてゐたが發表が遅延した。

東京(三鷹)に於ける星の掩蔽(Ⅲ月—Ⅳ月)

日附	中央標準時	月齡	現象	星名	等級	方向角		日附	中央標準時	月齡	現象	星名	等級	方向角	
						P	V							P	V
Ⅲ 1	18 45	6.3	D	55 Tau	6.9	90°	50°	3	$18^h0^m10^s$	7.5	D	+18°836'	7.8	85	30
1	20 40	6.4	D	+16°585'	7.8	60	5	4	22 10	9.4	D	ζ Gem	Var.	35	340
1	22 45	6.4	D	+15°601'	8.2	100	45	7	18 19.8 <sup>1)</sup>	12.3	D	木星	-2.0	53	111
2	23 44	7.5	D	+18°831'	7.5	110	55	7	19 12.6 <sup>2)</sup>	12.3	R	木星	-2.0	330	25

日附	中央標準時	月齡	現象	星名	等級	方向角		日附	中央標準時	月齡	現象	星名	等級	方向角	
						P	V							P	V
III 27	19 <sup>h</sup> 54 <sup>m</sup>	2.9	D	+11°480	8.7	20°	325°	VI 2	23 <sup>h</sup> 41 <sup>m</sup>	9.1	D	+18°1978	7.5	80°	20°
28	19 20	3.9	D	+15°561	8.9	30	330	27	20 31	4.7	D	+20°1409	8.2	130	70
28	19 58	3.9	D	+15°565	7.7	125	70		21 14	4.7	D	+20°1420	8.1	140	80
29	19 30	4.9	D	+18°754	8.7	70	10		21 34	4.7	D	+20°1426	8.6	50	350
30	20 5	5.9	D	+20°1132	8.5	65	5		21 35	4.7	D	15 Gem	6.6	50	350
30	20 13	5.9	D	+20°1135	8.3	65	5		21 37	4.7	D	16 Gem	6.1	120	60
30	20 16	5.9	D	+19°1086	8.7	130	70	28	20 32	5.7	D	+20°1768	8.2	120	60
30	21 2	6.0	D	+19°1110	6.0	130	70		21 37	5.7	D	56 Gem	6.1	100	40
31	19 46	6.9	D	+20°1549	7.0	80	30		22 12	5.7	D	+20°1781	8.3	60	5
	20 26	7.0	D	+20°1552	7.6	20	320	30	22 33	6.7	D	+17°2007	7.6	105	45
IV 1	19 34	7.9	D	171 B.Gem	6.8	100	65	V 1	0 5	6.8	D	+17°2018	7.9	150	95
	21 8	8.0	D	+20°1866	7.8	80	25								

- 1) a = -0.97<sup>m</sup>    b = +3.80<sup>m</sup>  
 2) a = -1.59<sup>m</sup>    b = -2.09<sup>m</sup>

流星群 III月も概して流星の出現数は少い、主な輻射點は次の通りである、

	赤經	赤緯	輻射點	性質
1~4日	11 <sup>h</sup> 4 <sup>m</sup>	+5°	χ Leo	緩
15日頃	16 40	+54	η Dra	速
18日頃	21 4	+78	β Cep	緩

變光星 次の表はIII月中に起る主なアルゴル種變光星の極小の中2回を示したものである。長週期變光星の中でIV月中に極大に達する等の星で観測の望ましいものは W Cyg (26日), X Mon (23日), L<sup>3</sup> Pup (16日), 18 Vir (23日), 88 Vir (3日) 等である。

アルゴル種	範圍	第二極小	週期	極小 (III月)		D	d
				中央標準時			
062532	WW Aur	5.6-6.2	6.1	2 <sup>d</sup> 12.6	23 <sup>h</sup> 20, 28 <sup>h</sup> 21	6.4	0
023969	RZ Cas	6.3-7.8	—	1 4.7	13 20, 19 20	4.8	0
003974	YZ Cas	5.7-6.1	5.8	4 11.2	18 23, 27 22	7.8	0
005381	U Cep	6.9-9.2	7.0	2 11.8	19 22, 24 22	9.1	1.9
071416	R CMa	5.3-5.9	5.4	1 3.3	17 21, 25 21	4	0
182612	RX Her	7.2-7.9	7.8	1 18.7	6 3, 31 1	4.8	0.7
030140	β Per	2.2-3.5	—	2 20.8	3 19, 23 21	6.8	0
035512	λ Tau	3.8-4.2	—	3 22.9	2 22, 14 19	14	0
035727	RW Tau	8.1-11.5	—	2 18.5	20 21, 31 22	8.7	1.4

D—變光時間, d—極小繼續時間

流星群 IV月中旬から下旬の乙女座火球は光度の著しいものが時々見へる。下旬の琴座流星群は稍著しいものである。本月の主な輻射點は次の様である。

	赤經	赤緯	輻射點	性質
16~25日	14 <sup>h</sup> 0 <sup>m</sup>	-10°	α Vir	緩, 火球
20~22日	18 4	+33	κ Lyr	速, 顯著
30日頃	19 24	+58	δ Dra	稍緩

變光星 次の表はIV月中に起る主なアルゴル種變光星の極小の中2回を示したものである。長週期變光星の中で、V月中に極大に達する等の星で観測の望ましいものは R Cam (3日), V Cas (21日), 8V Cas (11日), R Dra (22日), 8 Her (6日), R Hya (2日), V Mon (12日), U Per (2日), Z UMa (8日), 8 UMi (7日), R Vir (5日) 等である。

アルゴル種		範圍	第二極小	週期		極小 (IV月)				D	d
						中央標準時					
062532	WW Aur	5.6-6.2	6.1	2	12.6	m <sub>2</sub> 16 20, m <sub>1</sub> 21 21	6.4	0			
023969	RZ Cas	6.3-7.8	—	1	4.7	19 23, 25 21	4.8	0			
005381	U Cep	6.9-9.2	7.0	2	11.8	13 21, 23 20	9.1	1.9			
071416	R CMa	5.3-5.9	5.4	1	3.3	11 21, 19 19	4	0			
204834	Y Cyg	7.0-7.6	7.6	2	23.9	m <sub>2</sub> 25 2, m <sub>1</sub> 28 2	7	0			
182612	RX Her	7.2-7.9	7.8	1	18.7	16 1, 24 23	4.8	0.7			
145508	δ Lib	4.8-5.9	4.9	2	7.9	18 3, 25 2	13	0			
171101	U Oph	5.7-6.4	6.3	1	16.3	2 0, 17 2	7.7	0			
030140	β Per	2.2-3.5	—	2	20.8	12 22, 15 19	9.8	0			

D-變光時間, d-極小繼續時間, m<sub>1</sub> 第二極小の時刻

流星群 V月も概して流星の出現数は少ないが、上旬の水瓶座流星群はハリー彗星に属するもので稍著しく現れることもある。

	赤經	赤緯	輻射點	性質
2~8日	22 <sup>h</sup> 20 <sup>m</sup>	-2°	γ Agr	速, 痕
18~31日	16 24	+29	ε CrB	速, 白

變光星 次の表はV月中に起る主なアルゴル種變光星

の極小の中2回を示したものである。長週期變光星の内、本年V月中に極大に達する筈の星で観測の望ましいものは W And (24日), T Agr (8日), R Aur (22日), T Cas (23日), X Cen (9日), R Cnc (25日), V Cnc (5日), RS Lib (11日), R Oph (10日), RS Eri (6日), R Sgr (30日), R Vul (9日)等である。

アルゴル種		範圍	第二極小	週期		極小 (V月)				D	d
						中央標準時					
023969	RZ Cas	6.3-7.8	—	1	4.7	3 1, 20 23	4.8	0			
003974	YZ Cas	5.7-6.1	5.8	4	11.2	16 1, 25 0	7.8	0			
204834	Y Cyg	7.0-7.6	7.6	2	23.9	m <sub>2</sub> 22 2, 28 2	7	0			
182612	RX Her	7.2-7.9	7.8	1	18.7	19 20, 26 23	4.8	0.7			
145508	δ Lib	4.8-5.9	4.9	2	7.9	23 1, 30 0	13	0			
171101	U Oph	5.7-6.4	6.3	1	16.3	13 22, 18 23	7.7	0			
191419	U Sge	6.5-9.4	—	3	9.1	14 1, 30 23	12.5	1.6			
194714	V505 Sgr	6.4-7.5	—	1	4.4	21 2, 27 0	5.8	0			
103946	TX UMa	6.9-9.1	—	3	1.5	27 20, 30 21	8.2	0			

D-變光時間, d-極小繼續時間, m<sub>1</sub>-第二極小の時刻