

水素のない星

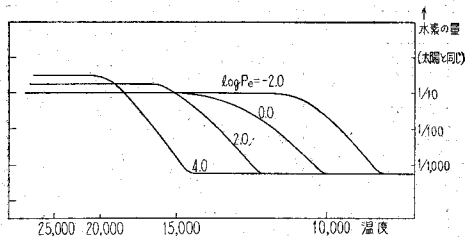
成相 恭 二*

1. 発見される条件

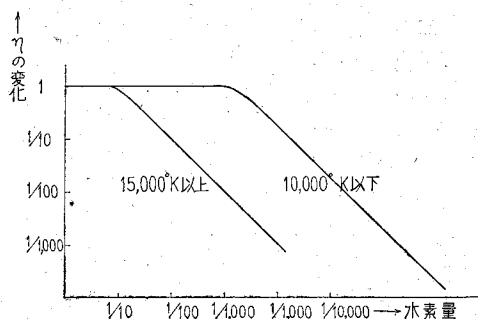
水素の少ない星の中で一番明るいのはいて座 γ 星の4.6等で、次が冠座R星およびいて座RY星の6等であるが、その外は8等9等といった暗い星が多く、いままでに発見されたものの数は白色矮星を除けばまだ20位である。白色矮星の内部にはエネルギー源となる水素はなく、冷却しつつある星であることはよく知られているが、ここでは普通に水素欠乏星とよばれている超巨星、およびヘリウム星とよばれているものについての手をしよう。

水素のない星のスペクトルはどのようにみえるだろうか。水素の量が少なければバルマー線が弱くなるだろうし、連続吸収が小さくなるために他の元素の線が強くなるだろう。また、A型星位の温度で自由電子が水素の電離によって供給されている場合には電子密度が小さくなるために他の元素の電離が進み、また、バルマー線の幅も小さくなっていわゆるにせの絶対光度効果を示す。

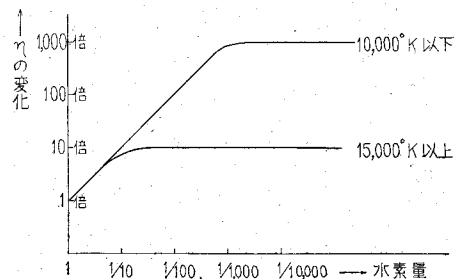
スペクトル線の強さはよく知られているように、線吸収係数と連続吸収係数の比 η によってきまる。だから水素の量が少なくなっても連続吸収が水素によっているあいだは η は一定だから、バルマー線の強さは普通の星と



(a) 水素の量をどれだけ減らすと他の元素による連続吸収が重要になるか。電子圧 Pe が一定の場合、図の線より上の部分では水素の量が変化しても水素の線の強さは変わらない。この図を温度一定の線で切って水素及び金属線の変化をグラフにしたのが(b)(c)図である。



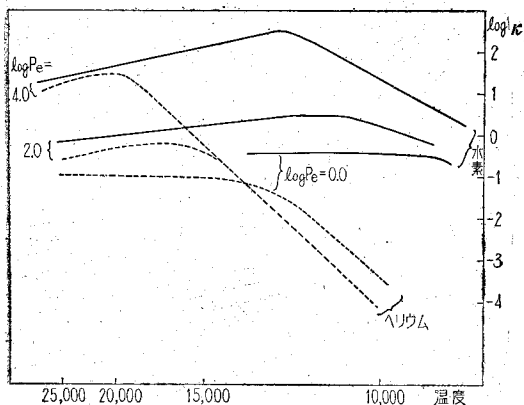
(b) 水素線の η の変化 ($\log Pe=0$ の場合)



(c) 金属線の η の変化 ($\log Pe=0$ の場合)

第1表 主な連続吸収源

	20,000°K	10,000°K	6,000°K	3,000°K
一番重要なもの	水素	水素	H ⁻	吸収線の翼
次に重要なもの	ヘリウム	C, N, O	C ⁻ , N ⁻ , O ⁻	



第1図 水素とヘリウムの吸収係数 (1gあたり)

違わないだろうが、金属の線などは η が大きくなるために強くなる。連続吸収が他の元素によるようになると、それ以上水素をへらせば η も減少するのでバルマー線は弱くなり、金属線については η は水素の量によらなくなるので変化しなくなる。

連続吸収は普通の星では水素または水素の負イオンによるものが大きい。連続吸収源として重要なものを第1表に示した。高温での水素とヘリウムの吸収係数を第1図に示してある。10,000°K以下では1コあたりの吸収

* 東京天文台

K. Nariai; Hydrogen-Deficient Stars.

第2表

名前	等級	スペクトル型	温度	視線速度	銀経	銀緯
HD 160641	9.8	0		+100	9	+7
BD+13°3224	10.53	B 2		+22	32	+34
BD+10°2179	9.95	B 3	18600	+155	234	+54
HD 124448	10.1	B 3		-65	317	+14
HD 96446	6.9	B 3		-12	289	0
HD 168476	8.9	B 5		-165	339	-18
σ Ori E	6.53	B 5		+29	206	-18
HD 135485	8.3	B 6			347	36
ν Sgr	4.6	A 0		-35	20	-13
HD 30353	7.7	A 5	8000	+7	161	-2
R CrB	5.8-14		6000	+21	45	+51
XX Cam	8.8-10.3			+16	150	+1
RY Sgr	6.0-				04	-20
SU Tau	9.5-				189	-4
RS Tel	9.3-				348	-14
HD 137613	7.4	R 0		+55	342	+26
HD 173409	9.2	R 0		-65	3	-13
HD 175893	9.3	R 1		+42	9	-14
HD 182040	7.0	R 0		-47	26	-12
SV Sge	11.6			+4	50	+4

係数は水素と C, N, O でほとんど変わらない。

最初の組成を太陽と同じにとって、水素だけをへらしていった場合に水素がどれだけへると他の元素による吸収と水素によるものが等しくなるかを示したのが第2図で、前にも述べたようにこの線より上の部分では金属線だけが変化して水素の線の強さは水素の量によらない。 $\log Pe=0$ の場合について η の変化を第2図 (b) (c) に示した。

第2図 (b) からわかるように2万度位の温度の星では水素の量が1/10になっても水素の線は弱くなるが、1万度より低温の星では1/1000より少なくなると水素の線は弱くならない。実際に解析された星について例をあげれば、スペクトル型でB 3位に相当するHD 96446は、カウリー、アラール、ダンハムの解析によれば温度を17,000°Kと仮定すると $N_H/N_{He}=0.38$ で太陽にくらべて水素は1/30位であるが、もっと低温度の冠座R星がサーールによれば $N_H/N_{He}=0.0005$ 、HD 30353は私の解析では $N_H/N_{He}=3 \times 10^{-6}$ 位で上述の限界以下の水素量だけしかいままでには見つからない。

この文章の始めに説明したように、水素をへらしても、ある限界をこえるまでは水素線の強さはかわらず、金属の線が強くなるはずである。metallic line starがこういう星ではないかと考えた人もいたが、この種類の星については他に種々の説があり、まだ定説はない。

metallic line starではなくて金属線の強いA型星も数個あるがまだよく調べられていない。

最近プルツィビルスキーとモリス・ケネディが明らかにしたところによるとHD 101065という星は普通の星に最も多い鉄などの線はまったくみられず、バリウムを始めとする中性子の数がマジックナンバーである元素だけが非常に多いというものすごく変わった星であるが、この星の水素の線は弱くて水素の量が少ないのであろうとされている。

2. 空間分布, 運動, 化学組成

第2表に水素のない星の視線速度、銀河座標およびその他のデータを示してある。表はおおよそ温度の高いほうから順にならべてあるが、このうちR CrBより下の10コはバイデルマンによってまとめられたもので、水素のない炭素星として一群をつくっている。このうち半分位は冠座R型変光星である。

これらの炭素星の一群は新星や惑星状星雲と同じく銀河中心方向に著しく集中していて種族IIに属するようである。このことからこれらの星は超巨星であることが推定される。

冠座R型変光星が超巨星であることは大マゼラン雲にあるW Menという冠座R型星の絶対等級-5等によっても想像できる。

B型に相当する星は銀河中心方向への集中とともにかなり視線速度の大きなものがあり、種族IIに属するようにも思われるが、一方銀河中心から離れていてちょうど銀河面上にあるものもあり断定はできない。

上に述べた低温星およびB型星にはまだ連星はみつかっていないが、A型位のいて座 ν 星とHD 30353は137日および360日の周期をもつ連星であり、進化に伴星の存在が大きく影響すると考えられるので、他の星とは区別して考えたほうがよさそうである。

いままでに解析された星の化学組成を第3表に示した。水素対ヘリウムは前にも述べたように広い範囲にわたっている。炭素対酸素の比は核反応がどういう工合に起こっていたかを知る目安になると考えられるが、HD 30353を除いては普通の星とそう変わらないようであ

第3表

星	水素/ ヘリウム	炭素/酸素	ヘリウム/ マグネシウム
γ Peg BV	6	1	10^{-3}
α Cyg A2Ia	5		3×10^{-4}
HD 160641	?	0.5	10^{-4}
BD+10°2179	3×10^{-3}	10	5×10^{-6}
HD 96446	0.4	—	—
HD 30353	3×10^{-5}	$\ll 1$	10^{-5}
R CrC	2×10^{-4}	$\gg 1$	—

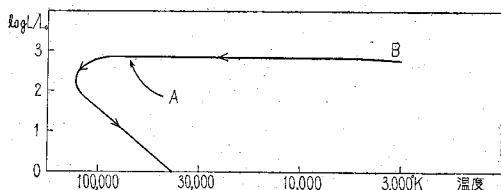
る。この表にはでていない低温度炭素星ではその名の示すように炭素のほうが多いと思われる。またこの炭素星では同位元素の C^{13} が C^{12} にくらべて普通の星よりもすくない。

次の欄のヘリウム対マグネシウムは種族のことを考える目安になる重要な量であるが、これは解析された3つの星についてはいずれも小さく、種族IIに近い。なおこの量は 8000°K 以下になるとヘリウムの線がみえなくなるために測定は不可能になる。HD 30353 は銀河中心と 180° 離れた方向で銀緯 0° なのに金属の量が少ないということは現在通用している理論とはあわないようだが、たまたま種族IIの星が銀河面上にあったのか、それともなにかほかの事情があるのか興味がある。

3. 内部構造のモデル

水素が表面になければもちろん奥のほうにもなく、エネルギー源としてはヘリウムその他の核エネルギーおよび重力収縮のエネルギーが考えられる。

ヘリウムが核反応を起こしているヘリウム星の進化はアラールおよび林らおよび尾崎によって計算されている。また超新星の爆発によって表面の水素の層が吹きとばされ、残りが重力収縮によって光をだす場合が林達によ



第3図 水素のない星の変化

(重さは太陽の約半分の星 林達の計算による)

Aはヘリウムだけからなる星がヘリウムの核反応で進化する場合、全行程をいくのに約 3×10^7 年かかる。Bは超巨星の爆発で膨張した残りが重力収縮をする場合、図に示した行程をいくのに約 10^7 年かかる。このあと右下方にいくにしたがって進化は遅くなり白色矮星になる。

第4表

主星の質量 (単位 太陽の質量)	伴星の質量	
	いて座 ν 星	HD 30353
0.1	1.7	4.6
0.5	2.3	5.3
1.0	2.9	6.1
2.0	3.7	7.3

て計算されている。この二つの進化は第3図のようになる。核反応をしている星は惑星状星雲の中心星のような高温の星に相当すると考えられている。重力収縮の場合は低温度の超巨星にもなり得る。水素欠乏星の大部分は超新星の爆発の残存物なのかもしれない。

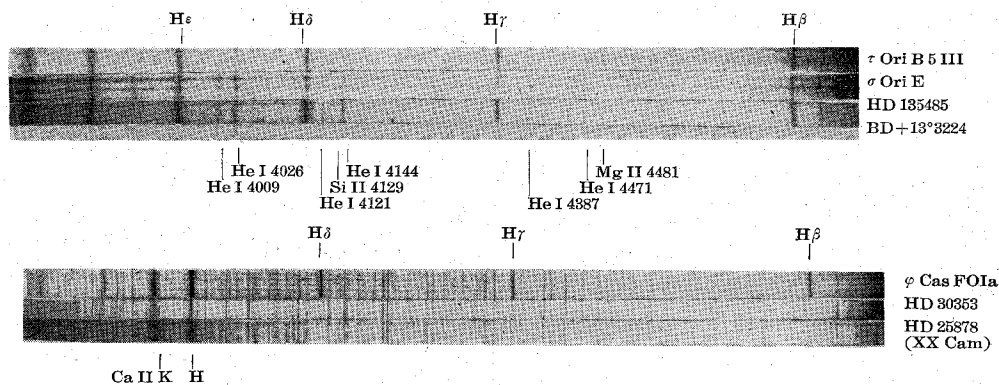
4. いて座 ν 星と HD 30353

この2つの星は前に述べたように連星であり、伴星はみえない。ところが質量函数 $f(m_2) = m_2^3 \sin^3 i / (m_1 + m_2)^2$ は 1.58 および 4.41 で伴星のほうが主星よりずっと重いことになる。視線に対する軌道面の傾きはないとすれば $\sin i = 1$ となり、主星の質量を仮定したときの伴星の質量は第4表のようになる。

星は質量の大きいほうが早く進化するから、最初のうちは主星が重かったが、途中でなんらかの方法で伴星より軽くなったと考えられる。超新星で爆発して質量の大部分を失なったという考え方でよいが、こういう連星の場合には主星の半径が軌道と同じ位になった所で主星から伴星に物質が流れだしたと考えてもよい。軌道半径は両星とも1天文単位程度だから後の考え方のほうがよいのかもしれない。

5. むすび

水素のない星は数も少ないし、そういう状態である期 (176 頁左下へ続く)



第4図 水素のない星のスペクトル

上の4枚は高温の星で1番上の τ Ori は標準星である。 σ Ori E と HD 135485 は水素にくらべてヘリウムの線が強く、水素対ヘリウムの比は標準星より小さいと推定される。BD+13°3224 では水素の線は殆んど見えない。

下の3枚はもっと低温の星で、 ϕ Cas は標準の超巨星である。下の2つの星はこの位の分散度のスペクトルでは水素の線は判別できない。