

B型星の酸素とネオンの化学組成

竹田洋一(国立天文台三鷹)、神戸栄治(国立天文台岡山)、定金晃三(大阪教育大)、増田盛治(あすたむらんど徳島子ども科学館)

1. 本研究の背景と目的

1-1. 同じラインを用いた太陽とB型星の相対酸素組成解析

型星の恒星光学に於ける大さな問題の一つが、つい最近の所から誕生したはずのB型主星などのCNO組成が五十年前のガスのためた太陽の深部からCNO組成より平均的に約30度程度増加するものらしく出ており、銀河ガスの化学進化の観点から元素組成は時間が増えるにつれて増大するものが当然なるに「なるべきだ!」という矛盾である(元: Nissen 1993, ASPC, 40, 108のレビューなど)。とりわけ銀河は重要であるが、後述の仕事は高温型星では太陽では全く見えないスペクトル線(OIIなど)から絶対組成を決めて単に太陽の公称の絶対組成と比べているだけなので正確な量の議論が出来ないことが大きな問題であった。この点「太陽もB型星も全く同じ組成を用いての銀色の組成解釈」をしてやると正確率の誤差を効率的に低くして正しい組成が得られる。この目的に叶ってつづけるラインはO II 6155-8A(3p $\rightarrow$ 4d $\rightarrow$ 4d): multiplet 10)の線である。つまりこの中性の高励起線は、太陽のような低温矮星型星では(中心水素衝突等)の不確定要素に左右されるが、non-LTE効果も全く無視できるほど3D効果も重要でないから、早期型星のnon-LTE効果(電子衝突のみなどで状況はわりと単純)のみをきちんと考慮するだけでいいからである。そこで本研究の第一の目的はB3-B9の早期型星と晩期型星のB系主列星の銀色組成と比較してO II 6155-8A線からnon-LTE解析が決定し、その中間に線から決定した太陽酸素組成と比較して差の有無を定量的に議論することである。食い違いは本当にあるのか? もしそうならどの程度なのか?

1-2. B型星のネオン組成決定

変遷との矛盾を解決しようと主張するグループが最近出ており、それは実に基準の原点を裏と示唆している。つまり太陽のCNO組成はよりリアルスティックな3D動的平衡の大気を示唆していると有意な下方修正を要し、従来思われていた値よりも実際は $0.2-0.3\text{dex}$ 低い値を採用すべきだと(Asplund et al. 2004, A&A, 417, 751)というわけである(酸素の場合は 8.9dex が $8.6-8.7\text{dex}$)。この主張の妥当性は別として、もし何にこの改訂が異なった場合に非常に迷惑を被るのが天体物理学者である。つまり重元素比の $Z=0.019 \sim Z=0.015$ の範囲は日産学で大量の影響を受け、これまでで $6\sim 8$ 観測事例を説明していた太陽内部構造標準モデルの確からし成功が薄しにされてしまっている。ただ太陽CNOが下方修正されたとしても、もしネオンの組成が現在信じている $\log(\text{Ne}) \sim 8.0$ よりも大きくて -8.3 程度もあれば $(\text{e}/\text{Ne})(\text{O}) \sim 0.9$ の相殺効果による矛盾は解消されることと遂げ道の指摘がなされた(Antia & Basu 2005, ApJ, 620, 1129; Banchall et al. 2005, ApJ, 631, 1281)。そして近傍太陽型星の活動領域・磁域・CNOの解析から確かに予測通りのネオン高値との報告が当初思っていたように(Drake & Testa 2005, Nature, 436, 525)。その後の太陽のX線スペクトルや極外域のスペクトルの追解析はいずれも従来通りの $(\text{Ne}/\text{O}) \sim 0.1-0.2$ であってこのネオンの上方修正には否定的な結果である(Schmelz et al. 2005, ApJ, 634, L197; Young 2005, A&A, 444, L45)。このように状況は現在混乱している。(太陽は他の太陽型星とは異なっているのか？) どのような解析に間違いがあるのか？ ここで重要になるのは現在の銀河ガスの組成を反映していると考えられる星型である。このサンプルに対しては現在同様正確なネオン組成 Ne/H -LTE解析で決定すること太陽の (Ne/O) 比に対する情報も得られて問題の本質が見えてこよう。これが我々の第二の目的である。

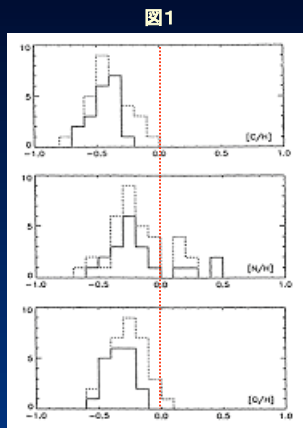
2. 観測・解析・結果

サンプルとして選んだのは比較的に明るい(V=5~6等)B3からB9までの主列星主体の
 18個の進んでないV型星64個である。観測は2006年10月17-23日に岡山観測所
 148cm鏡+HIDES分光器を用いて行い、赤クロスディバiserを用いて5800-6800Åの
 領域のスペクトルを得た。スリット幅は標準の200μmで分解能はR=70000であり、S/N
 ~300~400程度は達成されている。これらターゲットを理論HR図上にプロットしたのが図
 2であるが、3~9太陽質量の星であることがわかる。

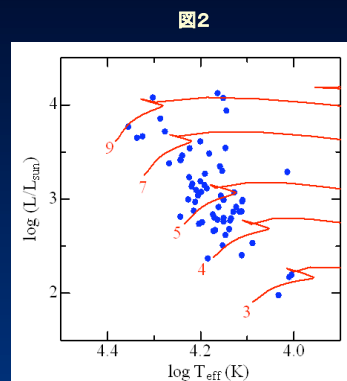
大気中の「ラメータ」 α と $\log g$ はStromgrenのUvby色指数からuvbybetanewコード (Napiewkowski et al. 1993, A&A, 268, 653; <http://www.astro.le.ac.uk/~m38/uvbybeta.html>)を用いて決定した。解析のためのスペクトル領域は $6140\text{--}6165\text{\AA}$ に絞った。ここにはO I 6155-80の三重線およびNe II 6142(2p² 3s² 3p)とNe II 6163(3k(2p² 3s² 3p))が存在し、また温度でもあるがO IIとFe IIの線も見える。解析はスペクトル合成フィッティングでを行い、酸素、ネオン、炭素、鉄の元素の組成と自転速度をフリーパラメータとして最適なフィッティングが得られるという条件で決定した。微小乱流速度はこのあたりの進化しているV型星では典型的に $0.5\text{--}0.5\text{km/s}$ の範囲にあるので、 1km/s を仮定した($\pm 2\text{km/s}$ での変化を調べたがランダムで無いので、高々百分の数のdex程度の差である)。また酸素とネオンの二種の元素についてはO/Ne比効果を取り入れた。最終的なフィットの結果を図3に示す。また組成の解から逆さに線外幅を求めたC/Ne-O/Ne補正や大気パラメータの揺動から組成の揺動をも見届けたが、それも図4(酸素 O I 6155-8)と図5(ネオン Ne II 6143)に図示される。

これらの図から、non-LTE補正を入るとTeffに関する傾向が除去されて概ね一様な組成が得られていると言える。ただしいくつかの星では(特に $T_{\text{eff}} \sim 15000\text{K}$ あたりの晩期B型矮星では)明らかに全体のトレンドから外れた酸素欠乏やネオン欠乏の化学特異星も見受けられることに注意されたい(逆にO過剰やNe過剰の星は見られない)。

Figure 6 is a line graph with the x-axis labeled 'Number of people in the group' and the y-axis labeled 'Number of people not in the group'. The x-axis ranges from 1 to 10, and the y-axis ranges from 0 to 10. The line starts at (1, 9) and ends at (10, 0).



従来の早期B型CNO組成解析の結果
(Nissen 1993より引用)



Age Group	Percentage of Respondents
18-29	65
30-49	75
50-69	80
70+	85

ターゲットのHR図上へのプロットと理論的進化トラック

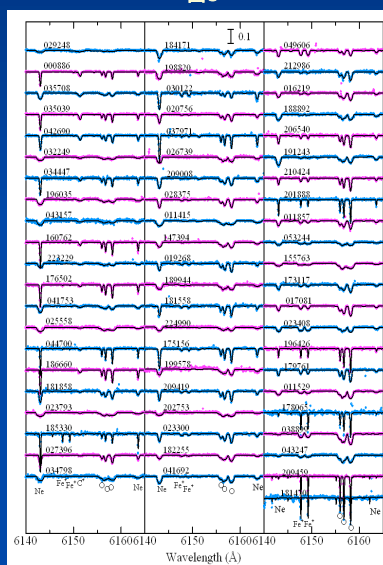


图 3

6140-6165Åフィッティング(黒線:理論、色丸:観測)| 数字はHP番号、T₀の降順に上→下、左列→右列|

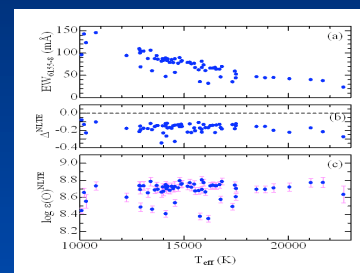


图4

酸素線の解析結果(6155-8線全等価幅、non-LTE補正、O組成)の T_{eff} に対するプロット

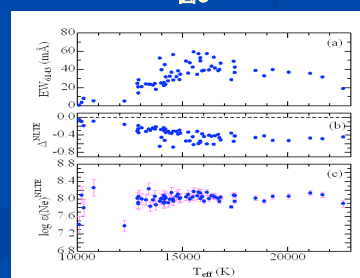


图5

ネオン線の解析結果(6143線等価幅、non-LTE補正、Ne組成)のT_eに対するプロット

3. 考察

3.1 銀河ガスにおける酸素の太陽に対する相対組成

今回B型星について得られた酸素組成の結果を晩期-B-F型超巨星 (Takeda & Takada-Hidai 1998, PASJ, 50, 629)、晩期B-A型星 (Takeda et al. 1999, PASJ, 51, 961)、大陽型-F-G-K 矮星 (本論文を含む; Takeda & Honda 2005, PASJ, 57, 65)、のそれぞれの場合と一緒に有効温度 T_{eff} に対して対向にプロットした。いずれも全範囲 0.16155-0.8 (同じ温度標尺を使用して) から求めた組成である。太陽で $\log(\text{O})_{\odot} = 8.11$ であることをここに注意しよ。[O/H] = $\log(\text{O}) - 0.81$ の頻度分布を見ると今回のB型星の中間と超巨星の場合と図7に示す平均値 ± 0.13 の間に、-0.19 (超巨星) である。従って結論としては「銀河ガスの酸素組成は 0.1-0.2 程度大陽値を下回るといふことになる。これは以前言われていた 0.3dex もの大きな差は緩和されてが、言い換えば依然として稀らしい。」

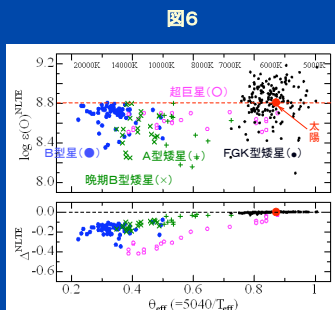
3.2 B型星のネオン組成

今回得られたB型星の $\log(\text{Ne})$ の頻度分布を図8に示す。平均値は $\langle\log(\text{Ne})\rangle=8.0$ であり、 $\langle\log(\text{O})\rangle=8.7$ より元素比 $\text{Ne}(\text{O})\sim 0.2$ となる。ネオンは酸素より大量要素として銀河ガスに放出される元素であるから、ここ二要素間の銀河ガスでの富相は決して進んでいないと思われるので、太陽の Ne/O 比もほぼこれに軌を一にするものと考えても良からう。したがって(太陽のCNO組成の下方向修正もした)真に「だったて」場合に天文学の矛盾を解消するだけの $\text{Ne}(\text{Ne/O})\sim 0.5$ 程度の太陽富相 Ne/O 上の可能性は明らかに否定される。

3.3 太陽CNO組成の下方修正について

Asplund一派の主張する「従来の太陽CNO組成の0.2dex程度の方下への改訂」は最近業界内部での認知度も上がってきているようで、これを標準値として比較の基準に用いる研究者も増えて来つた。しかしこれはまだ十分な検証は受けていないので決して盲目的に信用するべきではないと我々は考える。特に日震学に大きな矛盾をもたらすという難題を抱えていることは忘れてはならない。

また「銀河ガスの組成$\sim$太陽組成」の逆転現象に対して「これはありえないことであるのでその間違いの原因を探そう」という姿勢は思いこみにある偏見であって正しいとは言えないだろう。これが事実である可能性も視野に入れた柔軟心を持つてはならぬか。むしろ我々がこの逆転の食い違いに実際に存在するものという見解を持っている。(たとえば巨星型の組成解析からisubsonal metallicityが示唆される事実[Niemczura 2003, A&A, 404, 689]やG型巨星における上限[Fe/H]がより年老いた太陽型星の上限[Fe/H]より低くなっている事実(Takeda, Sato, Murata 2008, PASJ, 60, 781)に注意したい.)



6

広い温度範囲にわたる $\log \varepsilon^{6155-8}(\text{O})$ のふるまい
「我々がこれまでに得た結果の統合」

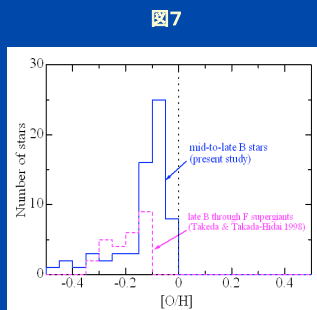
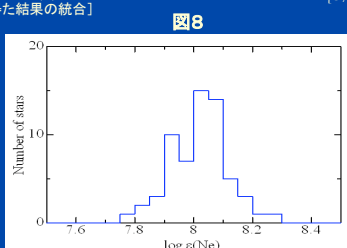


图7

[O/H]の分布



Age Group	Percentage of Respondents
18-29	85%
30-49	75%
50-69	65%
70+	55%

ネオン組成の分布