

# M 1 理論演習 『恒星』

## 第四回まとめ

2011/05/19

岡アキラ

### 概要

第四回は、1章10節から2章1節まで読み進める。1章10節では、金属欠乏星の観測から得られる情報についてを概観し、2章1節では、恒星の大気中をエネルギーがどのように輸送されているのかを学ぶ。

## 金属欠乏星

金属欠乏星とは、太陽に比べて、重元素<sup>1</sup>の組成が少ないものを指す。金属が少ないのは、宇宙の初期にできたからだと考えるのが自然で、したがって、金属欠乏星を調べることは宇宙初期における元素合成や星の進化、銀河の化学進化に対する制限を設けることに他ならない。

ビッグバンによる元素合成では、H、He、Liが作られた。このときの組成はバリオン密度による。金属欠乏星のスペクトルを調べると、それぞれの金属欠乏星でLiの組成がほぼ一定であることがわかる。したがって、この値は星形成時のLiの組成を表しており、ビッグバンで作られたLiの組成、すなわち、バリオン密度に制限がかけられる。ただし、金属欠乏星の解析から得られるバリオン密度はCMBやクエーサーを用いた制限より2倍から3倍ほど小さい値が得られているという問題がある。

また、金属量が太陽の1/1000程度の超低金属星では、元素組成に大きなばらつきがある。これは、超新星により生まれた重元素が行きわたる前に星形成が始まったためであると考えられている。したがって、超低金属星の化学組成は、1つの超新星での元素合成の結果でほぼ決まり、星の進化や超新星での元素合成に制限がかけられる。

宇宙初期における超新星の重元素供給は、最初に比較的短いタイムスケールで起こる重力崩壊型超新星による元素供給(O、Mg、Si)があり、しばらく時間が経つと、連星において主星にガスが降り積もることで起こるIa型超新星による元素供給(Fe)がなされると考えられている。金属欠乏星の組成を調べることで、この重元素合成過程のモデルをより詳細に記述することができる。

---

<sup>1</sup>Heよりも重たい元素

## 恒星大気中のエネルギー輸送

原子核に束縛された電子がより低いエネルギー準位に移るとき、あるいは、自由電子が原子核に束縛されたとき、自由電子が加速度を持つとき、などに電子は光子を放出してエネルギーを失う。電子にエネルギーが流入すると逆の過程も起こる。この、電子が損失した、または、獲得したエネルギーを持つ光子がスペクトルとして観測される。このとき、どれだけの強度のスペクトルが観測されるかは、放射大気中にエネルギー  $E_i^\alpha$  を持つ原子の密度  $n_i^\alpha$  による<sup>2</sup>。

原子数密度はサハ-ボルツマンの式

$$n_i^\alpha = n_0^{\alpha+1} \times N_e \frac{g_i^\alpha}{g_0^{\alpha+1}} C T^{-3/2} \exp \left[ \frac{I^\alpha - E_i^\alpha}{k_B T} \right]$$

で与えられる。ここで、 $N_e$  は電子数密度、 $g_i^\alpha$  は  $E_i^\alpha$  の状態の統計重率、 $I^\alpha$  は一階電離するのに必要なエネルギー、 $C \equiv h^3/2(2\pi m_e k_B)^{3/2}$  である。

大気中でどれだけのエネルギーが吸収されるかを表す量として、吸収に関わる原子数密度  $n$  と原子一個あたりの吸収断面積  $a$  の積を原子の質量密度  $\rho$  で割ったものを吸収係数  $\kappa = na/\rho$  を定義し、同様に大気中でどれだけのエネルギーが放出されるかを表す量として、放射係数  $j$  を定義する。さらに、どれだけのエネルギーが湧き出しているかを表す量として源泉関数  $S \equiv j/\kappa$  を定義する。これらの量を用いると、単位面積、単位時間、単位立体角、単位振動数あたりの放射強度  $I_\nu$  は

$$\frac{dI}{dt} = -(I - S)$$

と言う微分方程式に従う。ここで、 $t$  は  $dt \equiv \kappa \rho ds$  を満たす光学的厚みと言う量である。光学的厚み  $t$  の物質を強度  $I_0$  の光が通過すると、 $I = I_0 e^{-t}$  に減少する。

$I$  の従う微分方程式は形式的に

$$I(\tau) = I(0)e^{-\tau} + \int_0^\tau S(t)e^{-\tau+t} dt$$

と解くことができる。

この形式解は、今の状況では放射係数と吸収係数が与えられていれば簡単に積分できる。しかし、実際の大気を扱う場合には、原子による光の散乱の効果を考えなければならず、容易には積分できない。

<sup>2</sup> $\alpha$  は電離度を表し、 $i$  はエネルギー準位を表す。