

論文の内容の要旨

論文題目

英文 An observational study of the Galactic chemical evolution
with lithium isotopic ratio in the interstellar medium
和文 (星間物質中のリチウム同位体比を使った銀河進化の観測的研究)

氏名 川野元 聡

ビッグバン宇宙論によると、重水素 (^2D)・ヘリウム 3 (^3He)・ヘリウム 4 (^4He)・リチウム 7 (^7Li) と
いった軽元素は、ある程度の量が宇宙初期の元素合成で作られたと考えられている。そして、理論計
算からは、軽元素の生成量は宇宙の密度パラメータ Ω_b (またはバリオン-フォトン比 η) の関数と
して与えられる。それゆえ、観測から宇宙初期の軽元素の組成を決めることができれば、宇宙論と
宇宙の密度パラメータに対して強い制限をかけられる。

近年までは、観測される軽元素の組成はある一つの密度パラメータで無矛盾に説明できていた
(Smith et al., 1993)。しかし最近の観測、特に銀河間ガスの観測からは、これまでより低い重水素組
成が得られている (Burles & Tytler 1998a, 1998b, Kirkman et al. 2000, O'Meara et al. 2001)。こ
の低い重水素組成から決まる宇宙の密度は、これまでに得られていた他の軽元素組成から求めた密
度とかなり違っており、特にリチウムから求められた宇宙密度とは観測の誤差範囲内で共通部分
を持たない。従来のリチウムの初期組成は、金属量の少ない種族 II の恒星のうち、有効温度が 5600K
以上の星の表面組成から決められている。このリチウム組成が重水素組成の新しい観測と矛盾しな
いためには、リチウム組成の観測値が真の初期組成の十分の一に減少しているという仮定が必要に
なる。このような大きな減少は、観測的にも理論的にも説明が困難であり、今までの方法とは独立に
リチウム組成を決める方法が求められている。

ところで、リチウムの安定同位体には質量数 6 と 7 の二種類がある。ビッグバン元素合成で作られるのはほとんどが質量数 7 のリチウムであり、質量数 6 のリチウムはわずかしき合成されない。現在観測される質量数 6 のリチウムは、大部分が銀河進化の過程で星間物質と宇宙線との核反応で作られたと考えられている。もちろん星間物質中では質量数 7 のリチウムも作られるのだが、リチウムの同位体の組成比は時間とともに変化していくと考えられる。銀河の化学進化の度合によって組成比が変化するので、もし銀河系内で銀河中心からの距離によって化学進化の進み方が違うなら、リチウムの組成比を様々な場所で測定すれば、理論の助けを借りるにせよ、元素組成の時間変化やその初期値を再現することが可能であると考えられる。ここにリチウム同位体比の観測の意義がある。

さらに、リチウム同位体比の観測には、電離状態などの影響を避けられるという利点がある。一般に電離度の不定性による誤差が元素組成の決定にはつきものだが、同位体比を使うことで電離等の効果を相殺することができる。

これまでにリチウム同位体比の観測はいくつかなされているが (Ferlet & Dennefeld 1984; Lemoine et al. 1993,1995; Meyer et al. 1993; and Knauth et al. 2000), いずれも太陽近傍の観測である。そこで今回、観測の範囲を延ばすべく、距離 1kpc かそれ以上と考えられる (Humphreys, 1978) χ^2 -Ori, HD169454, HD250290 の 3 星を背景光源としてリチウム同位体比の観測を行なった。そしてその結果からリチウムの初期組成を推定した。

観測とデータ整約・データ解析について

今回使ったリチウムの吸収線は、 ${}^7\text{Li}$ では波長 6707.761Å と 6707.912Å の 2 本、 ${}^6\text{Li}$ では ${}^7\text{Li}$ に対して 0.160Å だけ長波長側にずれた 2 本、といったとても近接した線である。また、過去の観測から、星間物質によるリチウムの吸収は等価幅で数 mÅ と非常に弱いことが予想され、観測には高波長分解能と高 S/N 比が不可欠である。速度成分の解析のために、リチウムとは別にカリウムの吸収線も観測した。カリウムの吸収線はダブルットではあるがその間隔は十分に広く、速度成分を分解するのに都合が良い。

以下に大まかな観測諸元をまとめる。

対象名	光度	積分時間 (s)	波長分解能	S/N 比
χ^2 -Ori	4.65	156600	~ 40000	~ 2000
HD169454	6.65	4560	~ 100000	~ 1800
HD250290	7.41	6300	~ 100000	~ 1500

χ^2 -Ori は岡山天体物理観測所で、HD169454 と HD250290 はすばる望遠鏡で、それぞれ観測された。

データの整約は IRAF (Image Reduction and Analysis Facility) を使い、標準的なエシェル分光データ整約手順に則って進めた。

1 次元化したデータに対して、Simulated Annealing 法 (SA 法) で吸収線のフィットを行なった。SA 法はある汎関数で定められるパラメータ空間内の曲面上で、最小値を探す際に用いられる一般的な手法であり、局所的最小値に落ち込みにくいという特徴を持つ。解析時にはまずカリウムの吸収線を使って速度成分を分離し、必要に応じてその速度を拘束条件としてリチウムの吸収線のフィットを行ない、最終的なリチウム同位体比を決定した。その結果は χ^2 -Ori では $3.1^{+2.2}_{-1.0}$, HD169454 では $7.85^{+1.84}_{-1.29}$, HD250290 では 6.5 ± 2 であった。

結果とその解釈・まとめ

得られた結果を銀河中心からの距離とともにまとめる.

対象名	銀河中心からの距離 (kpc)	${}^7\text{Li}/{}^6\text{Li}$ 比
χ^2 -Ori	10.0	$3.1^{+2.2}_{-1.0}$
HD169454	6.8	$7.85^{+1.84}_{-1.29}$
HD250290	10.3	6.5 ± 2

吸収を起こしている星間雲までの距離は不明だが, 太陽系からの距離が 1kpc をこえるような背景星をつかったこの種の観測は今回が初めてである.

また, 今回の結果と過去の観測とを使って, 銀河進化モデル計算により宇宙初期のリチウム組成を求めた. リチウムの起源としては次に挙げる, (1) ビッグバン元素合成, (2) 宇宙線と星間物質との核反応, (3) タイプ II 超新星, (4) AGB 星, (5) 新星, の 5 種類を採り入れている. さまざまな初期パラメータについてモデル計算を行ない, 観測値を最も良く説明する初期値を探した. 宇宙年齢から考えられる銀河ディスクの年齢を 11Gyr とすると, その結果は $12 + \log(\text{Li}/\text{H}) \sim 2.2$ が最も確からしい値となった.

今回の結果は, リチウム同位体比の観測が, 宇宙初期のリチウム組成を求めるための有力な手法となり得ることを示すものである. 宇宙初期のリチウム組成は, 宇宙の密度パラメータ Ω_b を強く拘束するものであるため, 今回の結果は宇宙モデルの決定にも寄与するものである.