

## 赤方偏移 $z=3.4$ に原始銀河団を発見?

### Detection of Neutral Hydrogen at $z=3.4$

赤方偏移  $z=3.4$  の電波銀河 0902+343 を中性水素 21 cm で観測したところ、その銀河に重なって吸収線源が見つかった。また、すぐ近傍に輝線を出す中性水素雲も発見された。輝線の強度から見積もったこの雲の質量が  $3 \times 10^{14} M_{\odot}$  にものぼることから、これはトップダウンシナリオで予言される原始銀河団 'Zel'dovich のパンケーキ' の最初の例と考えられる<sup>1)</sup>。

#### 1. 銀河形成の2つのシナリオ

宇宙の進化のなかで銀河がどうやって生まれ、成長したかという問題は未解決の難問である。この問題には2つの方向からアプローチがされており、1つは観測でわかった銀河自身のさまざまな性質を再現しようという方向、もう1つは、それら細かな性質にはある程度目をつぶり、自己重力系 ( $+\alpha$ ) としての銀河と、銀河団や超銀河団のような大規模構造の形成過程を同時に追うという方向である。ここで紹介する論文は後者に関係が深い。後者のアプローチで普通の考え方は、宇宙初期に存在した密度ゆらぎが時間とともに成長して現在の銀河や銀河団になったとするものだが、この考え方に基づき大別して2つのシナリオが提案されている。1つは、初めに銀河以下の規模の束縛系が生まれ、それらが次第に集合・合体して銀河をつくり、さらには銀河団のような大きな構造に発展したとする考え方で、これをボトムアップ (小から大への) シナリオという。もう1つは、ま

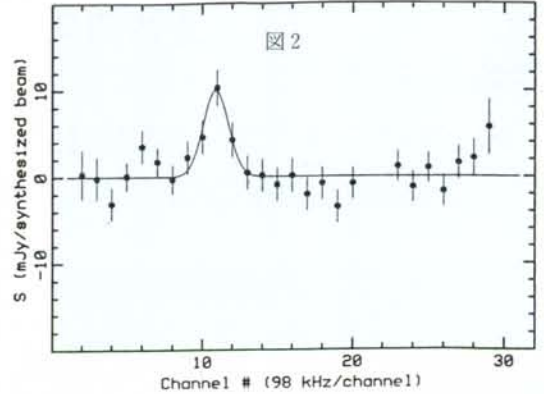
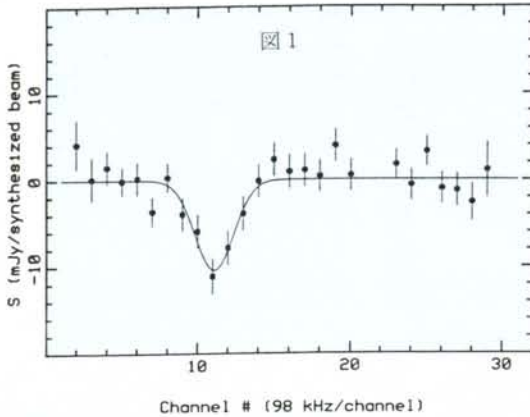
ず銀河団規模の塊ができ、それが分裂して銀河が生まれたとするもので、これをトップダウン (大から小への) シナリオという。このシナリオで現れる銀河団規模の塊はパンケーキと呼ばれる。

宇宙の質量の大部分は暗黒物質が担っているとされるが、冷たい暗黒物質を仮定するとボトムアップシナリオに、熱い暗黒物質を仮定するとトップダウンシナリオに従うことが理論的にわかっている。初期ゆらぎの性質と暗黒物質の種類を決めると銀河や銀河団の性質がある程度決まるので、それを観測と比較することによってシナリオを検証できる。現在、どちらのシナリオも観測との矛盾を抱えており、2者とも誤っている可能性もあるが、他にこれといったシナリオがないこと、致命的な矛盾がより少ないことから、ボトムアップシナリオがまだ見込みがあるとされる。シナリオの検証に使われたのは主に現在の宇宙を観測して得られた結果であり、例えば、大規模構造の性質、暗黒物質の分布、特異速度場などである。これらはいずれも理論に対し強い制約を課すが、もし銀河形成が盛んな時期での物質分布が観測できれば、2つのシナリオは直接検証できる。ここで紹介する論文はそうした観測の数少ない例である。

#### 2. 観測と結果

1991年春、アメリカのウソンらは、VLA という電波干渉計を用いて  $z=3.395$  にある電波銀河 0902+343 を観測した。この銀河は先にリリーらによって可視および近赤外で調べられ、誕生間もない銀河ではないかとされていた<sup>2)</sup>。観測に用いた周波数 330 MHz は中性水素原子の出す 21 cm 線を狙ったものである。観測の結果、この銀河のすぐ手前に 21 cm 線の吸収線源を、またこの銀河から約 33' はなれたところに輝線源を発見した。

これらの発見の意義を議論する前に、まず観測の信頼性を検討しなければならない。というのは、観測の対象となった銀河が強い電波の連続波を出しているのに対し、検出された輝線および吸収線



の強度はその1%程度しかないからである。強い電波源を干渉計で観測すると、そのすぐ近くに実際には存在しない幻の電波源が見つかることがある。これは干渉計の埋めるUV平面がすきまだらけであることによる。画像合成の後では、弱い電波源成分が見えていてもそれらが本物かどうか判別するのは難しい。そこでウソンらは、まず各チャンネルマップを用いて連続波成分を見積もり、あらかじめその成分を差し引いてから画像を合成した。彼らはこの他にも様々な誤謬の可能性を検討し、今回の輝線および吸収線が充分信頼性があり、しかもそれが21 cm線であるという確信を得た。

図1、2は、こうして得られた吸収線および輝線のスペクトルである。横軸は周波数で、98 kHz幅のチャンネルで分けられている。縦軸は各チャンネルの強度を表す。輝線および吸収線の周波数から求まる $\lambda$ は電波銀河のそれによく一致する。

### 3. 観測結果の考察

輝線強度から中性水素雲の質量を見積もったところ、 $M \sim (1.3 - 0.4) \times 10^{14} h^{-2} M_{\odot}$ という値が得られた( $h = H_0/100 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ )。この雲の視直径は300"で、 $(1.0 - 1.8) h^{-1} \text{ Mpc}$ に対応する。各値の幅は仮定した宇宙モデルの不定性に対応している。ここで求めた質量は中性水素だけの

ものなので、もし暗黒物質を含めるとこの数倍になると思われる。この値はトップダウンシナリオで予言される原始銀河団の質量に近い。一方、吸収線の観測からは、雲の温度 $T$ を変数として $4.4 \times 10^{18} T \text{ atoms cm}^{-2} \text{ K}^{-1}$ という柱密度が得られた。吸収線で観測された中性水素雲が実際にはどのような分布をしているかは不明だが、例えば銀河程度の雲が重なって見えている可能性がある。

巨大中性水素雲の発見は今回のウソンらの観測が初めてなのでまだ信頼性に不安が残る。しかし、もし今後新たに同様な発見があれば、殆ど絶望視されていたトップダウンシナリオは息を吹き返すかもしれない。一方、標準的なボトムアップシナリオは大変な難題を負うことになる。なぜならば、このシナリオでは大きいスケールほど相対的にゆらぎが小さいという性質があるために、銀河団程度の大きな質量が非線形なゆらぎに成長する確率は非常に低く抑えられるからである。

### 参考文献

- 1) Uson, J. M., Bagri, D. S., and Cornwell, T. J. 1991, Phys. Rev. Letters, 67, 3328.
- 2) Lilly, S. J. 1988, Astrophys. J., 333, 161.

嶋作一大 (東大理)