

## 「ガスハーロー」に関する研究会, IAU シンポ No. 117 「宇宙のダークマター」報告

池 内 了\*

5月末からの約1ヶ月半の滞米期間に、2つの、テーマも運営形態も全く異なる研究会に出席した。それらの内容と研究会の持ち方についての感想を、時期おくれになりましたが手短かに報告しておきます。

1つは、5月30日から6月1日の3日間の日程で、グリーンバンクで開催された「銀河のガスハーローに関する NRAO ワークショップ」である。これは、NRAOの若手研究者達が、自分達の観測プロジェクトをより広い視野でとらえなおすことを目的として、ごく小規模でかつ、ほとんど予算の裏付けなしに行なっている、いわば手作りの研究会である。今回のテーマでは、可視光、紫外、X線及び電波の観測家及び数名の理論家が集まり、総数で50名以下が円卓方式に顔を合わせて討議する、という具合であった。

我々の銀河のガスハーローについては、コペルニクス衛星や IUE を用いて高励起イオン (OVI や CIV)、低励起イオン (Mg II や Fe II) の吸収線を用いて、 $(5\sim 50)\times 10^4\text{K}$  のガスが、円盤から高さ 5 kpc 程度にまで広がっていることは確かであり、その回転運動から円盤の熱いガスがハーローへ流れ出たことも確かめられている。一方、ハーロー中の中及び高速度 HI 雲は、それらのガスが冷えて形成され円盤へ戻りつつある、といういわゆる噴水モデルが良さそうだという合意が形成されてきている。このようなガスハーローの描像が、他銀河においても共通するのか、又過去のガスハーローはどのようなものであったか、それはどのような観測によって調べ、確かめられるだろうか、ということが中心テーマ——というより筆者の関心の中心——であった。

最も興味深い報告の1つは、アインシュタイン衛星によって、E型・S型銀河のガスハーローが調べられ、E型銀河のほとんどで、30~60 kpc に広がる温度が  $\sim 10^7\text{K}$  のX線ハーローが見つかったということである (Ap. J. 293 に W. Forman et al. の論文あり)。若い紫外光の強い星や超新星爆発の頻度の低いE型銀河に、このような高温ガスが、光で見えるサイズの2倍近くにまで広がっているということは、非常な驚きであった。ダークハーローを持った大きい銀河ポテンシャル中のアクリーションで説明しようというモデルが提案されているが、もしそうだとすると、銀河中心で  $1M_{\odot}\text{y}^{-1}$  にもなるガスの降り積もりで若い星が生まれていてもいいのに、そ

れはない。このガスはどこへ行ったのか? ということになる。私自身は、やはりE型銀河の中心核の活動性と深く関わりあっており、他の波長域での観測と重ね合わせて考えるべきであると思っており、その示唆はありそうである。

もう1つの話題の中心は、キューサーの吸収線を利用して、銀河およびキューサーの過去のガスハーロー及びガス円盤の様子を明らかにしようという試みである。キューサーの吸収線は、大きく3分類される。1つは、Ly  $\alpha$  の森で1つのキューサーにつき  $\sim 200$  本あり、銀河やキューサーと関係のない原始銀河間雲と考えられている。もう1つは、最近 BAL と略称されるようになった。幅の広い吸収線で、これはキューサーの Ly  $\alpha$  の輝線のすぐ傍にあり、キューサー自身が放出した物質による吸収と考えられている。以上の2つは、銀河のガスハーローと直接関係はしていない。関係するのは、幅の狭い金属元素による吸収で、CIV で代表される高励起イオンによる吸収系と Mg II で代表される低励起イオンによる吸収系があり、明らかに2つの物理状態は異なっている。前者は、1つのキューサーにつき約 20 個も見つかっており、もしこれが銀河のガスハーローによる吸収とすると、ガスハーローの大きさは、ホルムベルグ半径の約6倍、100 kpc 以上でなければならない。後者の Mg II 系は、1つのキューサーで約2個、従って銀河のガスハーローとするとその拡がり  $\sim 2R_H \sim 40$  kpc なければならない。観測している波長の関係上、前者は  $z > 1.5$ 、後者は  $z < 0.8$  でしか観測していないので、必ずしもガスハーローの進化を測る目安とは言い難いが、銀河の活動度・背景紫外光強度の時間変化などを調べる上でも重要な情報である。さらに、CIV 系の 1/100 くらいに自己吸収で飽和した、幅の広い Ly  $\alpha$  の吸収が見ついている。HI の柱密度にして  $10^{21}\text{cm}^{-2}$  にもなるし、その頻度からサイズは、 $R_H$  程度と考えられ、銀河内ガス雲による吸収と推定できる。実際、21 cm (の赤方偏移した波長) での吸収も見つけられ、その幅が  $\sim 6\text{kms}^{-1}$  であることより、星間雲としてよさそうである。どうやら、銀河の進化を直接観測によってチェックする手がかりらしきものが見つかってきたと言える。

このワークショップに参加していた、L. Spitzer, B. Savage らは、キューサーの吸収線の観測は、JNLT の重要なプロジェクトになると励ましてくれた。A. Wolfe は、21 cm の吸収が見つかった  $z=2.04$  にある銀河の星

\* 東京天文台 Satoru Ikeuchi

間雲中のCOを、野辺山45m電波望遠鏡で測らないか、と進めてくれた(高原(文)を中心としたグループでなされると聞いている)。大研究会より、このような小研究会の方が、多く友人もでき学問的な刺激も大きいと実感した。

もう1つは、上記とは全く対照的な、IAUシンポNo. 117「宇宙におけるダークマター」で、6月24日~28日の間プリンストン大学で行われた。参加者数は、250名くらいで、5日間22講演のすべてが招待講演であり、一般講演はポスターセッションに廻され、約90編あった。内容は、我が銀河系内のダークマターから、S型銀河の回転速度、近傍の銀河群・銀河集団・矮小銀河のハロー、銀河及び銀河集団のX線ハローなど、天体の全階層におけるダークマターの存在量と存在形態についての観測的情報のまとめが、まずなされた。ダークマターが、系の可視質量の大きいもの程多い、という傾向、どのような系でも同じ割合だけ存在する、という傾向の双方ともまだ根拠薄弱ということがはっきりした。しかし、太陽近傍の可視質量と同程度は存在するダークマターが、その拡がりからしてバリオン製(従って、ブラックホールか木星くらいの小質量星)と推定されるのに対し、銀河ハローや銀河集団等の可視質量の倍近くは存在すると思われるダークマターは、大きく拡がっていて無衝突粒子製ではないかと想像され、問題は複雑である。

一方、銀河形成論や大規模構造形成の理論では、20eV程度の質量を持つニュートリノ派(東側モデル)と1keV以上の質量の大きいX粒子を持ち込んで、小さいスケールから大きいスケールへ重力的にクラスタリングすることを主張する派(西側モデル)の双方とも、~30Mpcを典型とする宇宙の大規模構造と~8Mpcを典型とする銀河の二体相関関数、及び2.7K宇宙黒体輻射の $10^{-5}$ 以上の精度の等方性、銀河・銀河集団のハッブル膨張則からのずれ、という観測のいずれをも満足させないでいる。モデルづくりに、非常に大きな考え落としがあるのか、重力則が変わるのか、重力一元論では無理なのか、観測のどれかがまちがっているのか、観測しているものが物質分布を正確に反映していないのか、のいずれかであろうと現在様々のアイデアが行き交っている。ダークマターをニュートリノ・X粒子の双方で考える(梅村・池内及びローマ大学のグループ)、銀河形成は物質分布のほんの少し高いところで起こったもので、現在の超銀河集団-大空洞という銀河分布の観測は、物質分布を正しく反映していない(M. Rees, J. Silk, J. Bardeen, S. White, M. Davisら、昨年、Santa Barbaraの「宇宙の大構造」のワークショップに長く参加した人々の共通した考え、短期滞在の私やB. Carr, C. Norman, H. Satoらは、これに同調しなかった)、ニュートリノ製巨

大パンケーキ内での爆発により銀河形成が抑制され大規模構造・二体相関関数の双方が説明できる(A. Doroshkevich, J. Einasto)、重力則が大スケールではニュートン則から異っており、ダークマターは存在しない(M. Milgrom, J. Bekestein)等々である。百家争鳴であっても百花斉放とは言えず、無責任に新しいパラメーターを導入しているのではないかと反省させられた。

最後のまとめのところで、宇宙の密度パラメーター $\Omega_0$ はいくらだろうか? という投票があった。結果は、 $\Omega_0=1.0$ 派と $\Omega_0=0.2$ ( $H_0 \approx 50 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ をとる)派に分かれた。前者は、インフレーション宇宙の枠組みを信用する立場、後者は、実際に観測されている重力源として働いている質量で、観測結果を重視する現実派。 $\Omega_0=0.2$ は、宇宙黒体輻射の等方性と矛盾せずに銀河が誕生できる最小値でもあり、余分な未知粒子を持ち込まずに銀河をつくる潔癖派とも言える。

さて、ダークマターは依然ダークのまま、光にさらされるにはまだ多くの時間を必要とするが、このシンポは別のことで多くの問題を考えさせられもした。その一つは、すべて招待講演(あえてレビュー講演とは言わない)で、一般の口頭発表はなく、すべてポスターとしたこと。この方式は、ここ2~3年でよく採られるようになった方式で、IAUシンポNo. 104「宇宙の初期進化と現在の構造」のように招待講演15分・一般講演8分のような極端なケースと対極をなすものである。ポスターは、お茶を飲みつつ議論できると共に、ポスターの代表者及び批判者を6人くらい用意して、ポスター議論のセッションが設けられ(1時間半)実質的な議論を保証しているのはよかった。一方、アメリカ天文学会の口頭発表が5分となっている現在、口頭発表の場が狭くなっていることへの不満も多く聞いた。それは、招待講演者がほとんど著名人・実力者(いろいろな意味での)・常連レビュアーであるという、もう一つ別の問題ともからんでいる。このシンポの前の週に、カナダのトロント大学で、カナダ理論天体物理センター主催の「銀河形成」というシンポジウムが開かれ、そこも全く同じ方式——招待講演とポスターのみ——であったが、なんと招待講演者のうち7名までがプリンストンでもしゃべっているのである。某著名理論家は、1年に15~20回の招待講演をこなすという。こうなるとタレント並み、カール・ルイス来たるの冠大会と同じである。シンポジウムを成功させるのは、その内容しかないはずなのだが、著名人と呼んで人を集めようとする主催者の学問への自信のなさが、このような事態を招いているのではないだろうか。今後、日本でも多くの国際会議が開かれるようになると思うが、内容そのものが遠い日本へ足を運ばせる魅力となっている会議としたいものである。