

高速水素雲

渡辺 喬*

題名から受ける「高速で飛ぶ雲」というイメージは何か孫悟空が乗っている「金斗雲」、といった感じであるが、これは中性水素の発する 21 cm 電波によってのみ観測されている異常に高速の水素雲のことである。現在のところ雲の正体については諸説紛々、正に文字通り「雲をつかむような話」となっている。この稿では観測事実やいろんなモデルの紹介に加えていさかでも新しい事を付け加えて見たい。

1. 歴史的背景

そもそもその発見の発端は 21 cm 電波観測のパイオニアであるオランダの人達による 21 cm 電波全天サーベイに始まる。彼らは銀河面から北側に遠く離れた場所や反対（アンタイ anti）銀河中心方向に「異常な」速度をもつ低輝度の水素雲を見付けた。この「異常」という意味は当時から考えられている銀河系宇宙の回転モデル（円運動を基本とする）では到底説明出来ない、という意味である。その速度はマイナス即ち我々に近づく方向のものが大部分を占め、-100 km/sec 以上の値を持つものが沢山出て来た（特に断わらない限り速度は局所静止系に対する値）。この発見は 1960 年代の前半に行なわれた。その後各地での観測が進むにつれマジェラン星雲につながったマジェラン雲流や、速度が一般の高速水素雲よりもずっと速い「超高速水素雲」等が南銀河半球において発見された。これらの雲の分布の様子を図 1（表紙）に示す。これらの雲以外にも広い範囲にわたって速度が -30~80 km/sec の「中速水素雲」が存在する。この「高速」と「中速」との区別は、オランダの人達が 21 cm 観測を行ったときグローニングン、ライデンの 2 つのグループの守備範囲の境界を -80 km/sec に置きそれをもとにして「高速」、「中速」といっていた事によるに過ぎず、この区別自体に大した物理的意味がある訳ではない。しかしながら「中速」に当る速度領域においては、超新星の爆発によって形成された巨大なシェル構造や銀河腕の一部等が沢山連なって見えるため（21 cm 電波は吸収を余り受けないと殆んど何でもスケで見えるエッチ (H) な電波である……図 2 参照）遠いものやすぐ近くにあるもの等がゴッチャになってとても単純な取扱いは出来ない。従って今回は比較的判然としたいわゆる「高速」の雲だけを論じ、中速雲については別の機会

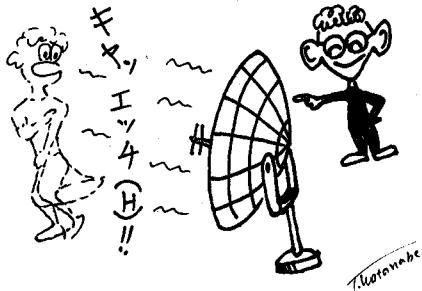


図 2 水素 (H) 21 cm 電波だと何でも透けて見える。右の人物は知る人ぞ知る某電波天文学者。

に譲りたい。

2. 高速水素雲のモデル

さて高速水素雲が発見されると当然の事ながらいろんな人がいろんなモデルを提唱した。しかしながら高速水素雲はその名の如く水素 21 cm 電波の、しかも輝線によってしか観測不可能であるため観測的に距離を求められない。21 cm 観測によって銀河系宇宙の構造が明らかになったと言われているが、それとてもある渦状腕までの距離を求めるに当っては適当な銀河回転モデルに頼らざるを得ず、21 cm 観測単独で距離が出せる訳では無い。高速水素雲の中に星が見られるとか、距離のわかった電波源（超新星の残骸等）の電波が高速水素雲によって吸収を受けているのが観測されるとかすれば何とかなるのであるがそのような例は皆無である。渦状腕の場合に倣って銀河回転モデルを使おうとしても、先にのべたようにそのようなモデルに従わないからこそ高速水素雲の重大性があるのであるからこれも多くの場合駄目である。といった訳で我々は高速水素雲に関して距離の情報を全く持っていない。従って以下にのべる種々のモデルにはある曖昧さが常に付きまとう。

2-1. 銀河系外天体説

よく知られた観測事実として、高速水素雲の発する 21 cm 線の幅が異常に広く、温度に換算すると約 1 万度となる、ということがある。先にのべたように吸収スペクトルが観測されていないため雲の温度の目安となるスピニ温度がわからない。従って観測された線の幅は乱流の影響や、ビーム内に速度の異なる何個かの雲が同時に観測されているらしい事などによって雲の温度をそのま

* 名空電研 Takashi Watanabe: "High-Velocity HI Clouds"

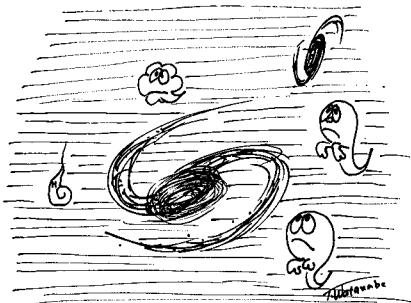


図3 高速水素雲は、ギャラクシーになりそなた可愛相な雲達であろうか？

ま示しているかどうか分らないが、とにかくこれを「温度」による拡がりだと考えると雲の内部圧は高くなり雲は膨張しようとする。これを雲自体の重力で押さえ込んで「雲散霧消」させないためには、雲は数メガパーセクといった、アンドロメダ星雲程度の距離に居なくてはならない（観測によって得られる質量は、未知数である距離の2乗に比例することから得られる）。もしそうだとすると雲の質量はマジェラン星雲程度になる。雲の中には星のかけらも見えないとこらから、高速水素雲は銀河系やアンドロメダ星雲のまわりを未だにウロついているギャラクシーに進化しなかった原初(primordial)水素雲なのであろうか（図3）。この議論の問題点の一つは、銀河ハローもしくは銀河間物質による外圧の効果（大変に「効果的」である）を考えていないことにある。最近言われているような銀河ハロー（温度～百万度、密度 $10^{-4}/\text{cm}^3$ ）を考えると、同じ雲を我々から数十パーセクのところに置いても十分膨張を押さえ込むことができるため、この議論だけでは距離は決らない。それにしても「外圧」が一寸上っただけですぐ防衛予算が大幅に「膨張」する、といった現象は理解が困難である。

2-2. 銀河ハロー内の雲説

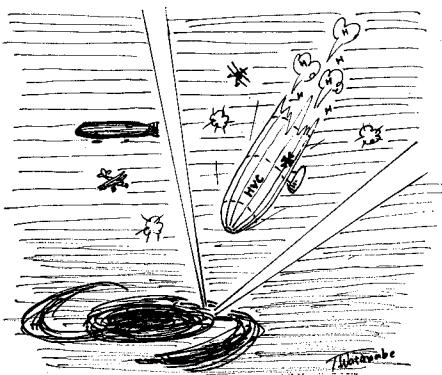


図4 落下してくる「水素雲」!!

前の説が主に米国在住の研究者達によって唱えられたのに対し、オールト大先生を中心としたオランダの人達は、高速水素雲を銀河ハローの中を落下してくる水素雲と考えた（図4）。彼等のイメージは、銀河系外の水素雲が直接落下してくるのではなく、銀河腕とハローとの境界のへんに生じた雲が降ってくるのだ、というものである。従って彼等のいう距離は2~3キロパーセクという、大変近いものとなる。もしそうだとすると、一年間に降り注ぐ水素の量は太陽質量の2倍程度となり、銀河系内での星の年間生成率と良い一致を示すのは興味深い。最近ではこの立場を取る人が多いようで、銀河面内で次々に起る超新星の爆発によって生じた高熱の星間ガス（ $10^5 \sim 10^6$ 度）が銀河面から「蒸発」し、あたかも池の水が蒸発して雲を作り雨となって地上にもどるように銀河ハローの中で水素雲となって再び銀河面に降って来るといったシナリオが考えられている（図5）。私はそういう事があるにしても後に述べる理由により数キロパーセクという距離は余りにも近すぎるのではないか、と思っている。ハロー中の雲の形成については北大の人達の仕事があり、いづれ本誌上にも発表されることと思う。

2-3. 銀河系宇宙の「衛雲」説

21 cm 観測で著名なカーサンを中心とした人達は高速水素雲を銀河系の衛星（雲）と考えて、観測された視線速度の分布に色々な長円軌道をあてはめ、観測データは雲の軌道の長半径が大体30~80キロパーセクであるとすると大体において説明できるとした。この場合個々の雲の質量は大体球状星団程度となり、距離はマジェラン星雲のそれと同じ位となる。私個人としては「心情的」にこのモデルが好きであるが、予想される「正の」速度を持つ高速水素雲の観測データが少なく十分なチェックが出来ないので残念である。

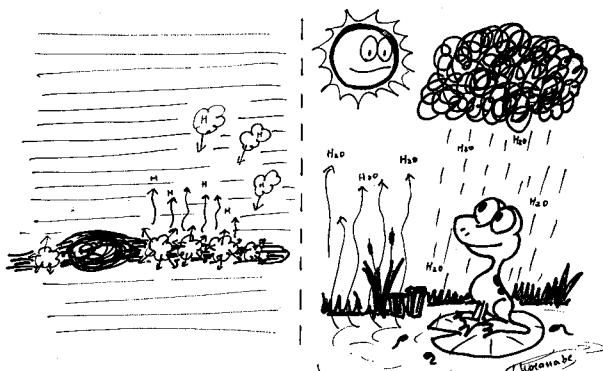


図5 (左)、超新星の爆発によって生じた高温のガスが蒸発して、冷えてかたまつた雲が降ってくる？ (右)、説明の要無し。

2-4. 銀河系の外側渦状腕説

太陽は銀河中心の回りを速度にして約 250 km/sec で回っているが、太陽軌道より外側の渦状腕を観測すると銀経が 0° ~ 180° の間では速度がマイナスに観測される。そこで高速水素雲のマイナスの速度に適当な銀河回転モデルを適用して高速水素雲に相当する渦状腕の距離を求めようという考え方がある。高速水素雲が主に北銀河半球に分布しているのは、マジェラン星雲との潮汐作用により銀河面がわん曲している事を反映しているとし、主な高速水素雲は太陽から約 10~20 キロペーセクにある渦状腕を形成していると考えた。問題点としては先にも述べたように高速水素雲の速度は単純な銀河回転

モデルでは説明できず、モデル次第で距離はどうにでもなる、ということがある。この考えは低緯度にある一部の高速水素雲や中速水素雲のある部分を説明するのには良かろうが、高速水素雲全体の説明としては無理がある。特に銀経 180 度方向の高速水素雲の説明が難かしい。

以上のべた諸説の他、マジェラン雲流と同一の起源を考える説や銀河系内での爆発的現象の結果とする説があるが長くなるので省略したい。

3. 高速水素雲の距離の推定

前節で見られた百家争鳴の原因はくどいようだが、高

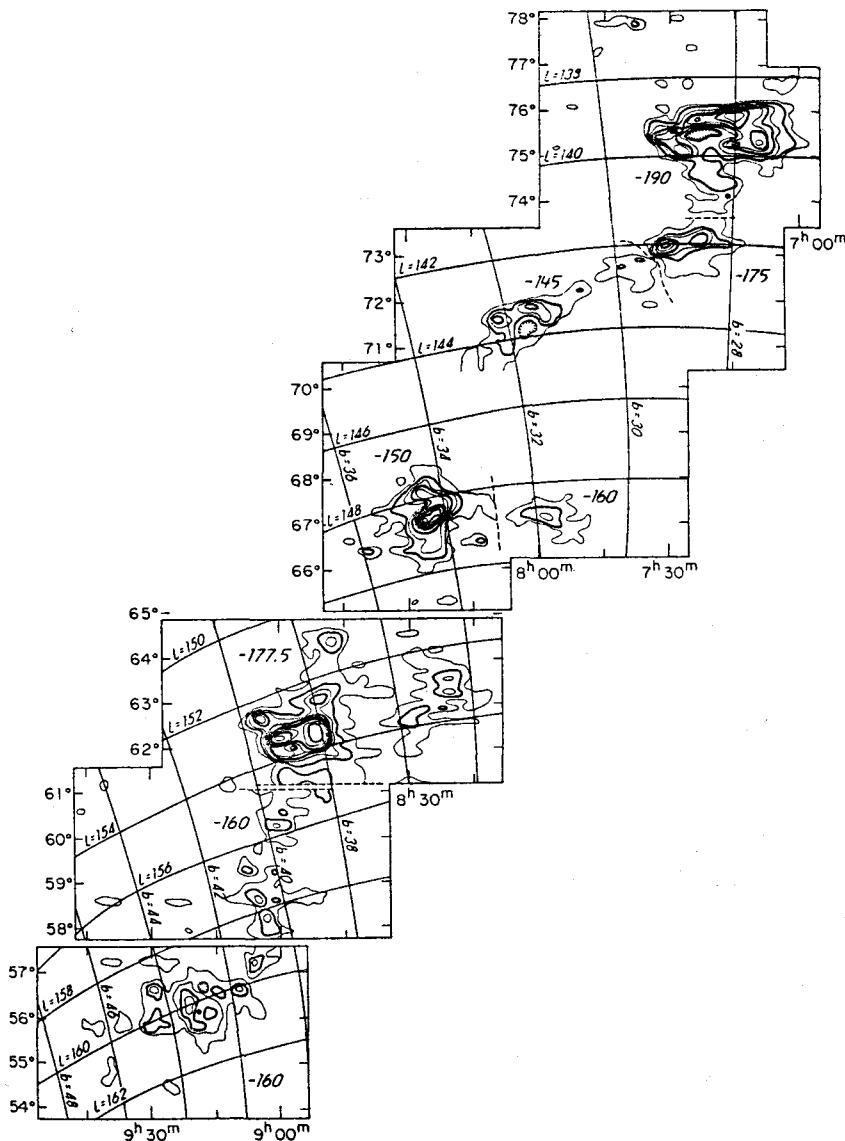


図 6 米国 NRAO, 91.5 m 電波望遠鏡 (分解能 10 分角) で観測した高速水素雲の一部 (Complex A)。
横軸は赤経、縦軸は赤緯。マイナス符号のついた数字は雲の速度 (km/sec)。

速水素雲の距離がわからない事にある。観測データも十分あるとは言えないがもう少し観測によりかかってスペキュレーションをやって見るのも満更無意味とは言えない。

先ず米国 NRAO にある 91.5 m 電波望遠鏡によって得られた高速水素雲の詳しい地図を見てみよう(図 6)。高速水素雲は一般にあたかも外力によって引きのばされたかの如き紐状をしているが、それを細かく分解して見るとモコモコした塊状の構造物があちこちに見られる。この観測をした人達はこの図の最上端に見られるドーナツ状の構造に注目し、形が超新星残骸の電波地図にそっくりであることから高速水素雲の中で何か爆発が起きたのではないか、と言っているがそれはさて置き私はそのドーナツ状の雲の少し下方に見られる 2 つ目玉の、亞鉢状をした雲に注目したい。こういう形態を見たときすぐ頭に浮ぶのは、雲が銀河系の重力場による潮汐力に耐えかねて分裂したところなのではあるまいか、ということであろう。そう考えてみると今にも引きちぎれそうに伸び切った雲とかまだ潮汐力の影響を強く受けていないと思われる円形の雲とかが目に止まる。もし高速水素雲の形態が主として潮汐力による変形によって決まるとすれば以下のような考え方で大体の距離の推定が可能であろう。

潮汐力による変形、分裂の考えは、あるいは図 7 によって理解され、もしくは誤解されるであろうが(「教育的」な例とは極めて考え難いが……)，銀河中心の回りをまわっている雲の感じる重力場の強さが雲の、銀河中心に近い方の端と遠い方の端とで異なるため全体として引きちぎられようとする力を受ける、ということである。雲が円軌道的運動をしている場合にはこれに遠心力による作用が加わる。彗星が太陽に接近したときしばしば何個かに分裂することがあるのはこの結果による。分裂するかしないかは、受ける潮汐力と雲の自己重力場の強さとの兼ね合いになるここは明らかであろう(自転は考えない。高速水素雲がはっきりした自転を示している例は無い)。そこでまだ強い潮汐力を受けていないと思われる円形の雲の観測データにこの潮汐力の考え方を適用すると、その雲が分裂すること無く銀河中心に近付くうる最小の距離、即ち距離の「下限」が求まり、既に潮汐力の影響が強く出ていると思われる伸びた雲に対しては、「あそこに居たならば分裂しなかったであろう」という、距離の「上限」が得られる。しかし現実には観測データの信頼性が乏しく(高速水素雲は極めて低輝度のため、較正等における誤差がとともに効いてくる)最も関心のある距離の下限もかなり「いい下限」なものになる恐れがある。それでも色々なデータを当って見ると大多数の高速水素雲は太陽から 10~40 キロパーセ

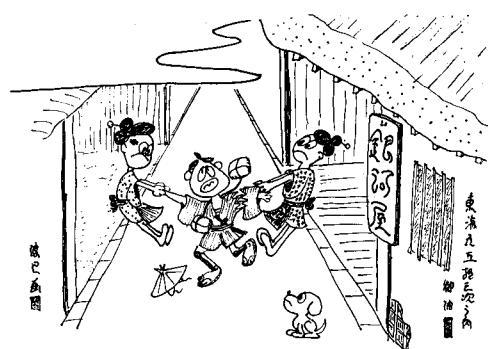


図 7 潮汐力による分裂はこのようにして起る?!

クの間に分布しているであろうことが示された。この値はオールト達の言う 2~3 キロパーセクよりもかなり大きく、カーラの銀河系衛雲説によって与えられる距離に近い。従って私としては(当節流行の「調整役」のつもりではないが)高速水素雲のあるものは銀河ハローの中に形成された水素雲であろうが、多くのものは銀河系の衛雲であろう、と考えたい。高速水素雲のあるものは比較的低温の(約千度)微細構造を持っているものが多くあり、事によると分子雲や星の形成が進んでいるかも知れない。先に図 6 で見たドーナツ状の雲は、雲の中心に低温の領域が出来て、水素原子が水素分子に変ってしまったため 21 cm 電波で見ると穴があるよう見えていたのだ、と考えている人もある。

4. 超高速水素雲、マジェラン雲流

銀河座標で見た南天にはアンドロメダ大星雲(M31)を始めとして M33 やマジェラン星雲等の、いわゆる「局部銀河群」らの主要なメンバーが集まっている。M31 や M33 も銀河系宇宙と同じように中性水素で出来た腕を持っているため、21 cm 電波で観測するとこれらのギャラクシーは速度が各々 -275 km/sec , -190 km/sec の「高速水素雲」として観測される。ところがこれらのギャラクシーの近くにもっと速いマイナスの速度を持つ、光学的には何にも見えない水素雲が続々と発見されて来た(図 1 参照)。速度は「高速水素雲」よりずっと速く、 -400 km/sec 以上になるものもあるため、これらの雲を「超高速水素雲」と呼ぶことにしよう。ある雲は M31 のほんのすぐそばで発見されたため、アンドロメダ星雲に属する高速水素雲ではないか、といわれたこともある。超高速水素雲の観測的特徴としては、高速水素雲に見られるものよりもずっと低温度の(~ 500 度)の「芯」をもっているものがあることであろう。しかもこの芯は明瞭な自転を示しており、高速水素雲とは又別のカテゴリーに入れるべき天体であるように思われる。超高速水素雲の場合も距離の情報が全く無いので、例の

潮汐力の考え方を適用して見ると近い雲は我々から大体 30 キロパーセク、遠いものでは 80 キロパーセク以上、という結論が得られる。質量は太陽質量の約 1~10 万倍、即ち普通の球状星団の程度である。超高速水素雲がアンドロメダ星雲のまわりに多く見られることと、我々の銀河系がアンドロメダ星雲に向って約 100 km/sec で近付いているらしいこと等を考えると、宇宙にフワフワ漂っている、ギャラクシーになりそこねた水素雲が銀河系の運動によって我々の方に向って飛び込んで来ているものを超高速水素雲として見ているのではあるまいか、という空想にかられる。即ち超高速水素雲はインヴェーダーなのではあるまいか？

図 1(表紙)に見られるようにマジェラン雲流の北端はアンドロメダ星雲の近くまで伸びているが、面白いことにこの北端の部分の速度も超高速水素雲のそれと同程度である。この速いマジェラン雲流の落下速度が、雲流の理論モデルを作る場合の重大な問題点となっている。人によっては超高速水素雲の起源をマジェラン雲流のそれ(銀河系とマジェラン雲の接近時に潮汐力により引っ張り出された、とする)と同じと考えているがマジェラン雲流の場合は超高速水素雲や高速水素雲に見られるような低温度の成分を含んでいないため、同一起源とは考えにくいのではないか。マジェラン雲流も御多分に洩れず 21 cm 電波によってしか観測されておらず、従って距離の情報は得られていない。そこで最近の詳しい電波観測のデータに先の潮汐分裂モデルを適用するとマジェラン雲流の北端の距離として、我々から大体 30~40 キロパーセック(大小マジェラン雲の距離は大体 60 キロパーセック)にあることがわかる。この値は種々の力学モデルによって与えられた値と矛盾しない。

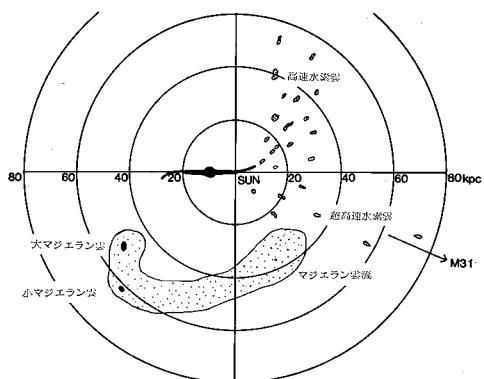


図 8 真横から見た銀河系と種々の水素雲の分布。
矢印は M31 の方向を示す。

5. まとめ

ここまでゴリゴリ押して来たものの、高速水素雲の正体は未だに「五里雲中」である。しかし何となく結論めいたものを出すために、前述の潮汐分裂モデルで求めた種々の水素雲の分布を一枚の「見て来たような絵」にまとめてみよう(図 8)。この絵は我々の銀河系を横から見たところをあらわしている。北側の高速水素雲は銀河腕のそり上った方向に広く分布しており、距離は 10~40 キロパーセックの間に広く分布する。南銀河半球にある超高速水素雲は銀河系がアンドロメダ星雲に向って動いている方向に多く分布しており、距離は大体マジェラン雲流と同程度であろう。この絵を見ただけでは何にもイメージがわからないが、いずれにせよ単一のモデルですべての高速水素雲現象を説明するのは無理であると思われる。より詳しいデータを得るため、「正」の速度をもつ高速水素雲の系統的観測など、45 m 大型宇宙電波望遠鏡に期待したい。

