

暗黒星雲，変光星，メチラミン

森本雅樹*

宇宙電波分光学

暗黒星雲——うしろの星の光をさえぎって、黒くみえる、星間塵のかたまり。あるものは星の光であたためられて散って行き、あるものは収縮して星になる。

変光星——彗星、太陽黒点等とならんでアマチュアにも、とつきやすい対象である。つまりあかるさのかわる星である。

メチラミン——分子式は CH_3NH_2 、メチル基とアミノ基のついた有機分子。 CH_3 の H を COOH でおきかえるとアミノ酸、グリシンになる。

この三つが何の関係があるだろう。特に最後のメチラミンにいたっては天文とは関係のない、化学のハナシのようだ。しかし、この三つは一つの糸でつながっているのである。これぞ「宇宙電波分光学」である。そして、私たちが現在もっとも関心をもっている問題であるといってもよい。

1968年、カリフォルニア大学のタウンズたちが、銀河中心にアンモニア (NH_3) のスペクトルを波長 1.3 センチでみつけてからはじまった分子スペクトルのブームは、主な舞台がキットピークの米国国立電波天文台、11m ミリ波望遠鏡(アルバム写真)にうつり、すでに30種類をこえる分子が、電波のスペクトルでみつかっている(表I)。

はじめ、オリオン星雲やら、銀河中心などでみつかっていた分子のスペクトルも、それが、H II 領域とそれにくっついている分子雲とわかって来ると、結局は、星にかたまりかけた高密度雲であると本質があきらかになって来た。すると、おなじような性質をもった、宇宙のあちこちどころがっている暗黒星雲はどうなるのだろうか？ 星の誕生との関係は？ これが分子のスペクトルでだんだんとあきらかになって来ている。本稿ではまずこの暗黒星雲の分子スペクトルについておはなしし、次に、最近発見されたミラ型変光星の分子メーザーについてふれる。こちらは、かなり進化してしまった星で、その星から放出されたガスの振舞いが電波の分子スペクトルの観測によってあきらかになった。

つまり、星の進化の過程で、従来の光による観測や、理論からでは手掛りのつかみにくかった面が、「宇宙電波

分光学」の方法によって明るみに出されるのである。うまれたばかりの宇宙電波分光学が、すでに、天体の本当の姿を明らかにするという。天文学本来の姿の一つの大切な部分として、一步を踏み出した記念すべきエポックといえるだろう。

といっても、宇宙電波分光学は、なにも「新しがり」の看板を降ろしたわけではない。最近また4種の分子がリストに加わった。曰く、メチラミン (CH_3NH_2) ジメチルエーテル ($\text{CH}_3\text{-CH}_3\text{-O}$) 一硫化シリコン (SiS) エチニル基 (CCH) である。ジメチルエーテルは原子数9コという、今まで星間空間で発見された最も複雑な分子である(今までで一番多いのは原子7コ)。一硫化シリコンははじめて、H, C, N, O といった宇宙にたくさんある原子以外でできた分子の発見である。

本稿では、私たちが発見にたちあつて、「日本の分子」の名前をなんとか確保したメチラミンの発見についてもおはなししておこう。

分子のスペクトル

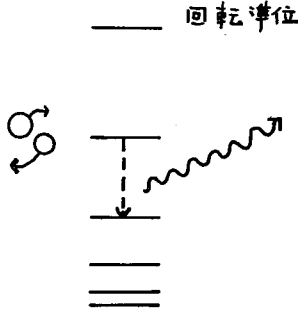
天体のスペクトルといえば、望遠鏡に「分光器」をつけて星の光を分析する、アレである。簡単にいえば、スリットを通した光をプリズムでわけける。プリズムで、光は波長によって異なるまげられ方をするので、たくさんまげられた短い波長の光(青い光)と少ししかまげられない長い波長の光(赤い光)がわけられる。中間の波長はその中間に来る。たとえば太陽の光で6563 オングストロームのあたりをみると他の波長より少し暗くなっている。太陽大気の上の方のつめたい(といっても温度5,000度くらい)部分にある水素が下からの光を吸収するからである。

光では、このように、温度数千度で、放出、吸収されるスペクトルが観測され、星の大気の研究に大きな役割を果たしている。

電波に来るスペクトルは、温度の低い、分子のスペクトルである。どうも天文学には縁がなさそうだが、ともすればそう考えがちであるが、何人かはそうでない人たちもあつた。それが今日の「宇宙電波分光」の隆盛のタネになったのである。

スペクトル線は、御承知のように、分子なら分子が、「ある一つの状態」から、「もう一つの状態」に移るときに、あまったエネルギーを定まった波長の電波とか光とかで放出してでる。逆に、おなじ波長の電波がやって来

* 東京天文台
Masaki Morimoto: Dark Clouds, Variable Stars and Methylamine



第1図 分子の回転によってエネルギーレベルができる。上の状態から下の状態に落ちるとあまったエネルギーが電波として放出される。

るとそれを吸収して、もらったエネルギーで元の状態にもどる(第1図)。

つまり、分子は、その分子に特有ないくつかの波長でだけ電波を吸収したり放出したりしている。

それだけだったら簡単である。電波がうんと強ければ、分子はそれを吸収して上の状態に上り、それ以上は吸収がおこらない。何かの拍子で下に落ちただけがまた吸収するといった具合で、吸収と放出とが完全にバランスしてしまう。分子としては一生懸命放出吸収をくり返していても完全にバランスしているから吸収も放出もどちらもしないのと同じである。つまりスペクトルはみえないというわけである。

このバランスをくずすのが、他の分子との衝突である。まわりの分子がうんと速くうごいていけば、それにぶつかることで我等の分子はエネルギーをもらう。それが下の状態におちるときに出す電波はさっきのバランスの外である。つまり、まわりに分子がたくさんあって、それがどんどんぶつかってくればスペクトルはみえる可能性がでてくるのである。ざっと計算してみると次のようになる。一酸化炭素のスペクトルでは 1cc あたり分子 10^8 コ、HCN では 10^6 コ、 H_2CO の 2 ミリのスペクトルでは 10^6 コというわけである。

これでは駄目だ、とだれでも思う。星間空間、そして分子のみつかるような H I 領域では、密度は 1cc あたり 1 コから、せいぜい多くて 100 コである。とても、1000 コとか 10^6 コはおぼつかない。

しかしまてよ、それならば、そのくらい密度の高い場所があればよいではないか、事実、分子に都合のよいような、数十度 K という温度で、こんな密度の雲があっても、従来の光の観測ではひっかかって来ないのである。

星の誕生

オリオン座の三つ星の下にタテにならんだ小三つ星、そのまん中の星が、よくみるとポーっとかすんでいて星雲とわかる。星の誕生のはなしの冒頭はいつもこれであ

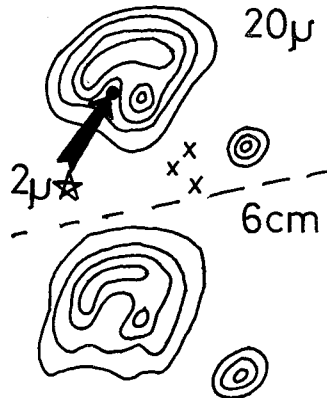
る。この星雲は中心にある4つの高温であかるい星であたためられて輝いている。計算してみると、太陽の何万倍ものエネルギーで、星は数百~千万年でエネルギーを費い果してしまいそうである。とすると、この星はうんと若いことになる。オリオン星雲ともども、ざっと数十万年昔に、星間雲からかたまっとうまれたものである。

オリオン星雲とおなじような天体に W3 という電波源がある。IC 1795、カシオペア座の星雲である。この中心部に、非常に小さくかたまった電波源がある。オリオン星雲より更にもっと若い星雲であろう。電波が出ているからには星にあたためられた高温であかるい星雲になっている筈なのに、写真にもうつらない。ところが最近、この星雲のまわりで強い赤外線が出ていることがわかった。星雲や星からの光や熱を、そのまわりを包んだ濃い塵の雲が吸収してしまい、それを赤外線の形で放出しているのである(第2図)。この星雲が、熱のため膨張をはじめ、まわりの塵をふきとばしてしまえばオリオン星雲のようになるだろう。オリオン星雲の一つ前の段階である。

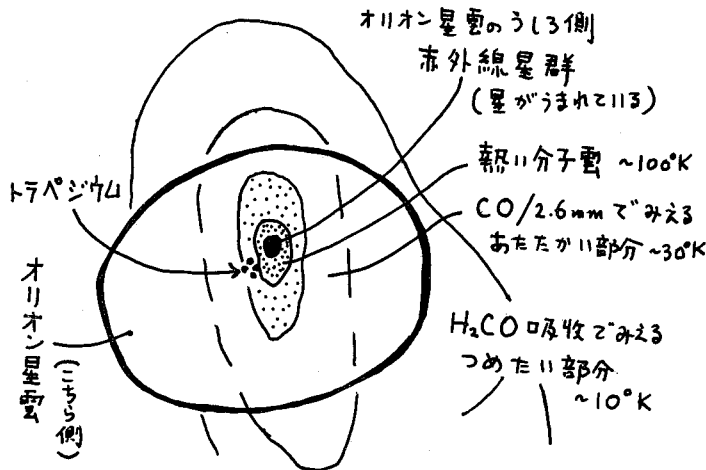
そのまたもう一つ前の段階は、と考える前に、星間雲がどのように収縮してどのように星ができるかおさらいしておこう。

大きなガスのかたまりがある。これが縮むかふくらむかは、引力が圧力に勝つかどうかでできる。引力が強ければ収縮するし圧力が高ければ膨張する。つまり、重くてつめたいガスは収縮して星がうまれる。

オリオン星雲にくっついている分子の雲はそんな天体である。フォルムアルデヒドの 2mm のスペクトルでみると幅約 3', 長さ約 6' にほそ長くひろがっている。オリオン星雲までの距離を 1500 光年とするとタテ 3 光年横 1.5 光年、密度 1cc あたり 10^6 コ以上、すなわち質



第2図 赤外線と電波でみた W3. 上は20ミクロンでみたところで、星雲をとりまく塵があたためられたもの。矢印は中心星で波長2ミクロンの赤外線で見ることができ。下は電波、波長6センチでみたもので、一万度に熱せられた星雲のガス。



第3図 オリオン星雲と分子雲

量は太陽の約1000倍である。温度30~60°ということできさきの計算がやってみられる。収縮にぎりぎりという答えである。「わかった」読者だったら「アタリマエだ。つり合いながら、冷えた分だけ縮むんだよ」と答えられるだろう。そうかもしれない。しかしそうでなさそうにも思われる。

この分子の雲の中心部には強い「赤外線星」がある。そして他に数コのそれほど強くない赤外線星が群を作っている。星はもう誕生しはじめていたのである。あたためられて温度が上がりはじめたのかもしれない(第3図)。濃い塵や、出来かかりの星の質量を勘定に入れてないのがいけないうちかもしれない。前者は膨張側、後者は収縮側の要素である。さて何にしろ、これは、W3にみえている塵にかこまれた星雲の一つ前の段階、星はうまれたが、ガスはほんの少し暖められただけという状態である。

さてもう一つ前の段階、それが暗黒星雲である。オリオン座、オリオンの三つ星の左側、腰のあたりのリンズ1630番という暗黒星雲(アルバム写真)を一酸化炭素(CO)の2.6mmスペクトルで観測した例がある。タテ3°, ヨコ2°に大きくひろがった吸収領域にほぼそって、スペクトルがかなり強く受かっている。(表紙左上の図)図では、黒い丸がスペクトルの強い場所すなわちガスの濃いところである。つまり、この暗黒星雲は、1ccあたり1000コくらいのH₂分子と星間塵を含んでいる。質量として太陽質量の1~10万倍、これとやはりCOスペクトルから求めた温度、5~10°Kとくらべると収縮の卦である。実際、図の左上と右下の方にNGC 2068, 2024としたあたりはスペクトルも非常に強くなっている。収縮によって(断熱圧縮まがいのことを考えていただければよい)温度が上ったのだろう。そして、そのあたりをさがせば、オリオンやらW3やらよりはずっと弱くても、赤外線星が見つかる筈である。その様子を模型的に示し

たのが左上の右側の図である。

CO 天の川の本更津サーベイ

リンズ1630は暗黒星雲としてはありふれたものであるらしい。一酸化炭素のスペクトルで天の川にそってさがせば、たとえ光でみえなくてもたくさんみつかる筈である。中心部に温度の高い場所があれば赤外線できさす。10ミクロンあたりで見つければもうかなり星の形成が進んでいるし、100ミクロンあたりであれば温度の上った塵の雲プラスアルファ程度であろう。そういった場所でのいろいろなこと、温度、密度、赤外線の輻射場、といったこと

がHCN, H₂CO, OHなどの観測からわかって来るだろう。いままで、まるっきり手が出なかった、「星の誕生」の過程に対して、観測的に、手がかりがつかめるようになる。スバラシイことではないだろうか。

そのいちばんはじめともいうべき、一酸化炭素の観測の計画が、木更津高専と私たちの共同研究として進められている。

望遠鏡としては木更津高専の1.5mパラボラ赤道儀(アルバム写真)を使う。小さいなお思いの読者が大部分であろう。このようなサーベイ観測を、たとえば三鷹の6m望遠鏡でやったらしよう。ビーム幅1.7', 天の一点を観測するのに10分かかったとして、前出のリンズ1630を観測するのに約3千時間かかってしまう。天気具合、キカイのごきげんなどを考えればチョイと一年仕事である。暗黒星雲一つでこれでは、天の川にそってサーベイなどともないことになる。感度(ここでは分解能)は少しグセイにしても、能率をあげるためには小さい望遠鏡でビームをひろくにとってやればよい。木更津の1.5m望遠鏡であれば4倍の約7.5'になり、うまくやれば2年程度で天の川のサーベイが片付く。

感度の点でも、リンズ1630のような近くにある雲ではずいぶんわしく構造がわかるし、その10倍の距離(5キロパーセク、1万5千光年)にあっても星の誕生となるコラプス(急激な収縮)がはじまっているか見わけることができる。リンズ1630のような雲だったら、銀河系の反対側にあっても充分にみつけることができる。そして、みつかった雲を、三鷹の6メートル望遠鏡などでくわしくしらべ、更に他のスペクトル線でしらべて行けばよい。

銀河系の密度波にそってうずまきのうえで、スパイラルアームがうまれ塵やガスが圧縮されて暗黒星雲ができ、そして星が生まれる。その姿が、水素21センチ電

波、これからやる CO のサーベイ、そして H II 領域の熱的電波によって、全くおなじ方法を使ってあきらかになって行く。

この様なサーベイは、私たちの知るところ、世界中でもあまり計画されていないようである。もちろん、望遠鏡を向けるべきおもしろい天体にこと欠く今日ではないので、みんな忙しいのであろう。1.5m 望遠鏡を生かした、スケールの大きい天文学がやれると思っている。

計画としては、例によつて研究費もとほしいがそれでも、なんとか、最低限の設備でこの冬には満足させたいと思っている。来年また、研究費を申請して、もっと能率のよい、サーベイにむいた装置でこの仕事を完成させたい。

変光星——ミラ

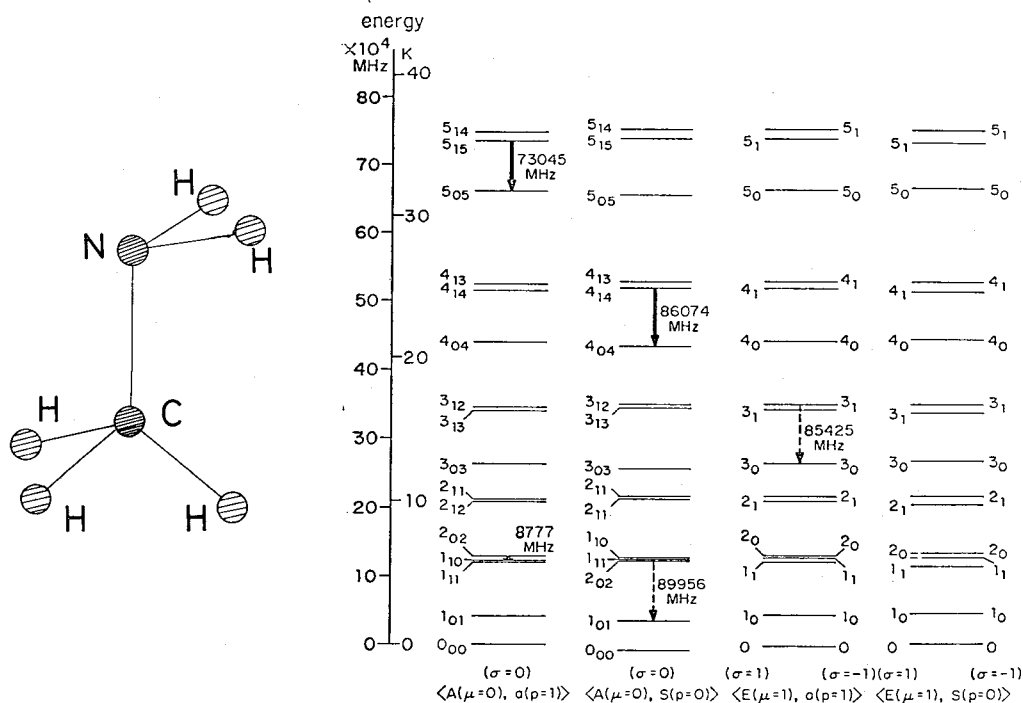
ミラといえば有名な変光星である。星の進化が進んで、中心の水素を使い果たし、膨張がおこる。そして一種の不安定な状態になって脈動をおこす。数百日の周期で太陽の十倍くらい大きさから、火星の軌道くらいの大きさまで、ふくらんだり縮んだりする脈動である。

数百日だからゆっくりのようであるが、脈動のスケールも大きいので速度は毎秒数十キロからそれ以上となりガス中に衝撃波をおこす。このような星から、水酸基(OH)の18センチ電波が見つかった。昨年の3月号でおはなした、星をとりまいて膨張するガスの輪であ

る。この輪の内側に水蒸気の電波を出す領域がある。温度数百度で、衝撃波により更に強く乱されている領域であろう。表紙右上の図はこれを面に描いたものである。中心に星があり、まわりをガスの輪がとりまいている。右側に観測されるいろいろなスペクトルを示す。

アメリカのスナイダーたちが、オリオン星雲に妙な電波を見つけた。わけのわからない、波長3.5ミリの電波である。さっそく他の星雲もさがしたがみつからない。変だ変だと言っていた。そこへ、はるばる東京から海をわたってやって来た海部さんの登場である。海部さんはこれが赤外線星やミラ型星の水蒸気や OH の電波と似ていることに気がつき、(他に、ここには書ききれないような理論的な考察もあった)スナイダーをけしかけてそっちをさがしてみたのである。結果は、彼にいわせれば予想通り、まわりからみればびっくりするような、大当りで、次々と新しい星が見つかっていった。

むかしから光でくわしく観測されていたミラ型星である。それとして、非常に興味ある対象であるばかりでなく、星から大量のガスの放出がある点でも重要である。このガスからの電波が、海部さんたちの変な電波であり水蒸気や OH の電波である。星からの質量放出が直接観測にかかるようになって来た点で意味は大きい。前に OH のところでお話したように、今のところまだ、1年に太陽質量の千分の一というとてもない値が OH からは出ているが、くわしい観測、ちゃんとした解釈によ



第4図 メチラミンの構造とエネルギーレベル

ってもっとよくわかって来るだろう (表紙図上右)。

海部さんたちの変な電波はその後の観測から一酸化シリコンの振動励起状態とわかった。といっても馴染みはうすいかもかもしれないが、この状態を作り出すのに二千度近い高温が必要である。電波でこのような線が観測されることは、だれも (もちろん海部さんも) 予想しなかったことである。

もう一つ、アメリカは生き馬の眼をぬくところである。海部さんたちが変な電波をみつけた、となるとタデウス、ビュール、スナイダー、……が、次々と、よってたかっていろいろな観測をする。アレオアレオという間であつたらしい。

この電波についてはいずれ海部さんがくわしく書かれるだろう。このくらいにしておきたい。

メチラミン CH_3NH_2

去年のはじめ、大変な苦勞の末、フォルムアルデヒド (H_2CO) と硫化カルボニル (OCS) のスペクトルをみつけたところ、富山大の高木さんからお手紙をいただいた。「メチラミンのスペクトルを実験室ではかることに成功した。天体でしらべてみないか。」うれしいことに私たちの気むづかしい受信機でもなんとか受けられる範囲の波長である。たんねんに観測をかさねてこの2月ごろにはやっと自信のある結果にたどりついた。

おなじころ、アメリカでは、海部さんが波長3.5ミリの線でメチラミンに挑み、こちらは二晩ほどで検出に成功した。

メチラミンは、メチル基 (CH_3) とアミノ基 (NH_2) のくっついた分子で (第4図)、メチル基の回転、アミノ基の反転そして全体としての回転などいろいろな状態があり、複雑なスペクトルを出す。このスペクトルをしらべて分子の構造をしらべる仕事は日本で霜田さん、平川さん (天文月報 1972年 10月号、重力波のはなし) などによって行なわれ、最近では高木さんや児島さんの仕事が大き、つまり、「日本の分子」である。

海の向う側とこっち側でほとんど同時に、私たちのイニシアチブでみつかった、つまり、空でも「日本の分子」の名が保持できたわけである。

といったことで沸いている最中、オーストラリアから電報が入った。去年、IAU 総会でオーストラリアに行ったとき向うのフリキスさんと、波長3.5センチでメチラミンを狙っていた (アルバム写真)。それがなんとか成功したという電報である。霜田先生、高木さんによい御恩返しになった。表紙下側の図は日米豪で観測されたスペクトルである。棒の印のついている場所がスペクトルのみえるべき場所。左上が三鷹の観測でオリオンでは殆んどみえず、さそり B2 でみえている。右側がアメリカ、

海部さんの結果でメチラミンの他に SO 、 CH^{15}N の線もみえている。左下はオーストラリアでミリ波では重なっていた超微細構造の線が分離してみえている。矢印があとにてくるあやしい線である。

もちろん、本格的な観測はこれからである。前にお話ししたように、メチラミンは複雑なスペクトルを持っている。たくさんスペクトルがある。これをいろいろ観測すればいろいろなことがわかる。

たとえば、パークスで観測した3.5センチの電波は、4ミリ、3.5ミリの線から考えられるより100倍も強い。まわりのガスとメチラミンの間で「何か」が起っているのである。

と書いている間に一本の手紙と一つの電話が入った。一つは海部さんで、メチラミンのもう一つのスペクトルの観測に成功し、この「何か」の正体がわかりそうというのである。もう一つはオーストラリアのフリキスさんで、メチラミンのスペクトルのそばに新しいスペクトルがあるらしい、どうしらべようかというものである、そこまでつき合っているはこの文章おわりそうもない。ひとまず筆をおくことにしよう。

表 1 発見された32種類の分子。上から、遊離基、無機分子、有機分子に分類してある

分子	みつかっている場所
CH^+	**星間空間
CH	*星間空間, H II 領域, 暗黒星雲
OH	H II 領域, 赤外線星, 暗黒星雲
CN	*H II 領域
CCH	
NH_3	H II 領域, 暗黒星雲
H_2O	H II 領域, 赤外線星
CO	H II 領域, 暗黒星雲
HCN	H II 領域
?	X-ogen
H_2	**星間空間
CS	H II 領域
OCS	H II 領域
SiO	H II 領域, 赤外線星
HNCO	H II 領域
HNC	H II 領域
SO	H II 領域
SiS	
H_2CO	H II 領域, 暗黒星雲
HC_3N	H II 領域
CH_3OH	H II 領域
HCOOH	H II 領域
NH_2CHO	H II 領域
CH_3CN	H II 領域
$\text{CH}_3\text{C}_2\text{H}$	H II 領域
CH_3CHO	H II 領域
H_2CH	チオホルムアルデヒド H II 領域
H_2S	H II 領域
CH_2NH	H II 領域
H_2CCO	ケテン
CH_3NH_2	H II 領域
$(\text{CH}_3)_2\text{O}$	H II 領域

** は光だけ, * は光と電波でみつかっているスペクトル, 他は電波だけ。