

CO⁺—^に256 Ch 奮 戦 記

森 本 雅 樹*

発 端

相模中研の齋藤さんのところに行って来たフリキスさんが、例によっておもしろいコピーを持ち帰って来た。実験室で CO⁺ のスペクトルがみつかったというのである。

「コレダゲデワナンノコトワカラナイジャナイカ」といわれる向きにはまずナントカ中研から説明しなくてはなるまい。相模中研とは、その道では世界的に有名な化学関係の研究所で齋藤さんは、その研究所で電波の吸収から分子構造の研究をしている人である。ミリ波で分子のスペクトルをしらべる——実験室で齋藤さんのしておられることをそのまま電波望遠鏡でやろうというのがわたしたちの宇宙電波分光である。なにかあるとは齋藤さんのところに行って相談に乗ってもらっている。

フリキスさんは、電波天文で先輩のオーストラリア、パークスから東京天文台に来て研究をしておられる。宇宙電波分光でも、特に新しい分子さがしに興味がある。実験室で CO⁺ のスペクトルがみつかったとあってはじっとしておられないのも当然である。

CO⁺ とは

そして主役、CO⁺ の登場である。CO⁺ は一酸化炭素、CO から、電子が1つとれたイオンである。電子はマイナスの電気だからそれが一つとれたらプラスの電気である。

星間空間には一酸化炭素がたくさんある。少し濃いガスの中では炭素はほとんどが一酸化炭素になってしまっているらしい。そのスペクトル——波長2.6ミリというミリ波の電波である——も、したがって非常に強い。小さい望遠鏡でも結構受かる、とか、暗黒星雲を能率よくたくさんみつけて星の誕生をしらべようとか、(天文月報1974年10月号)宇宙電波分光では重要な分子である。

天文学ではイオンは珍しい存在ではない。星、星雲、星間空間、どこでもイオンだらけのようである。CO がたくさんあって、イオンが珍らしくない、とすれば、CO⁺ で大騒ぎすることもなさそうに見えるではないか? ところがそうでもないのである。

「ソレデハオウカガイシマスガネエ」と乗り出して来る人がある。星間空間でたくさん発見されている分子は

みんなガスの中で分子同士ぶつかって、ものが空気中でもえるように作られる(固体や液体も、たいていは一旦蒸発して気体になってから酸素と反応する)と考えている人たちである。「コンナニタクサンノ CO ガアルノハドウヤツテセツメイシマスカ」

宇宙塵など、固体の表面で、吸着によって分子ができる(鉄がさびたり、真空中でアルミメッキをしたり、木の葉に霜がおりたり)という考えではこの莫大な CO の量はうまく説明がつかないのである。

「ヘエーッ、レイカニヒヤクナンジュードデタンソガモエマスカネエ」というのが固体派の言い分である。星間空間のような冷たいガスの環境では炭素は酸化(燃焼)しそうにない。固体表面の吸着活性を利用して、なんてことばで言われるとなるほどそうかと思ってしまう。

そこで CO⁺ の登場である。反応の途中にイオンをはさめば、反応活性化エネルギーの問題はなんとか通り抜けられるのではなからうか、そして、もしイオンが存在しているとすれば、こればかりは固体表面の反応では説明つかない。電気を帯びた粒子は固体にくっつきこしても、固体からはなれることはあり得ない。

どちらかといえばフリキスさんはガス派、私は固体派のひいきである。日本でも、宇宙航研の清水さんや高柳さんはガス中での反応をしらべているし、電気通信大の中川さんやわたしたちの仲間である井口さんは固体表面での反応の研究に余念がない。真空槽で塵粒子のでき具合をしらべている人たち(天文月報73年6月号)もある。よくながめてみると、ガス派の人たちの反応式は簡単な分子ばかりが多く、固体派の人たちはアルコールなど複雑な分子を論じたがる。

どこかまでがガスでどこかまでが固体表面——星間空間でもなわばりがあるのかも知れない。CO⁺ はその手がかりを与えてくれるカモ、というわけである。

ソナニタイセツならどうしてもっと早くにやらなかったのか、と疑問を持たれるかも知れない。ここではまず分子のスペクトルがどうやってみつかるかお話ししなければなるまい。

スペクトルだから、きまった波長の電波をさがせばよい。どの物質がどの波長の電波を出すかにしたがって観測することは光のスペクトルと同じである。光の場合に、ナトリウムならナトリウムがどんな波長の光を出すかは、ナトリウムを含んだ試料を発光させて波長をはか

* 東京天文台: Masaki Morimoto
The 256 Ch and an Unsuccessful Search for CO⁺.

る——ガスの焰に食塩のついたハリガネをかざして出て来る黄橙色のあの光——というわけである。電波の場合にはむしろ吸収を使うのが具合がよしい。こっちからいろいろな波長の電波を出してそれを受けてやる。途中に「試料」をはさめば特定の波長で吸収があらわれる。その分子の放出する電波とおなじ波長である。

CO⁺ の場合にはどうすればよいか? CO⁺ を含んだガスを使えばよい。というわけにはいかないのである。イオンはすぐにまわりの電子と一緒にあってCOにもどってしまう。イオンとか、「基」(たとえばOH, CNなど、分子の結合のうでの余ったもの)といった不安定な物質のスペクトルをしらべるのは実験室では非常にむづかしいのである。この波長ばかりは、計算では正確にきまらない。どこをさがしてよいかわからなくなってしまうわけである。

不安定な基の場合には、吸収用セルの中で反応させてこわれるとか他と結合するとかまでの極く短い時間を利用してはかるなどの方法がかなり成功しているがイオンではむづかしい。それが、セルの中の放電によってイオンを作り吸収をみるという方法でなんとかCO⁺のスペクトルがとれたという報告がある雑誌にでていたのを、フリキスさんが相模中研に行ったときに斎藤さんからおそわって来たものである。報告がでていたといっても、そんなにむづかしい実験であれば、なにかとんでもないものをつかんでしまう可能性がある。弱い電波を観測するセルの中で放電させるのであるから雑音も多いだろう。斎藤さんの目利きではまずまずということであった。波長は、一酸化炭素、COの2.6ミリの電波のすぐ近く、2.55ミリに二本の線である。

さあどうやって観測をしようか。早速三鷹の6メートル・ミリ波望遠鏡を向けてみよう。というところで、ミリ波望遠鏡の仕組を御説明しなければなるまい。

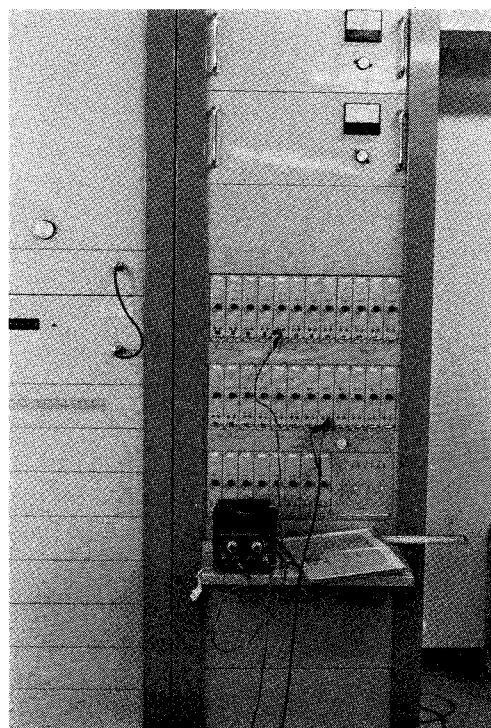
電波望遠鏡は、天体に向けさえしたら電波がサッと受かるというわけには行かないのである。あの、おわん型のアンテナ、つまり「電波望遠鏡」の写真に出て来るあれは、あくまでアンテナで、テレビで言えばあの魚の骨に相当する部分である。弱い電波をチャント受けるには魚の骨に立派なものをつける必要があることは勿論で、そのために大きなおわんを使うわけである。ミリ波の望遠鏡といえば直径6mもあれば世界一といわないまでもずい分と立派な部類に属する。しかし、そこにつけるカラーテレビのセットにもいいものをつけなければいけない。先ず、弱い電波を正しく増幅する「チューナー」の部分である。CO⁺2.55ミリという新しいチャンネルに合わせられる、感度のよいチューナーが必要である。これが容易な仕事ではない。昔のテレビのチューナーは、ときどき微調整をとり直してやらないとチャンネル

がずれてしまうのがあった。ミリ波の受信機ではこれがまた一段とやかましい。チョット目を離すとすぐにずれてしまう。しかも、テレビでは画をみながら合わせれば画のハッキリしたところが正しい同調であるが、こちらの場合はスペクトルがどんなにか受かるか全く未知なわけである。受信機と同調波長そのものを正確にはかってそれをたよりに合わせてやる必要がある。つまり、ミリ波での精確な波長測定が必要ということになる。

ミリ波の波長測定はどうしてするか。ミリ波測定装置のカタログをさがしてみよう。アッタアッタ、セイミツガタクウドオハチョオケイ。すなわち、精密型空調波長計である。どのくらい精密か? カタログをみればよい。ウン、スバラシイ、0.2%と書いてあるではないか。とすると、2.55mmで、精度は0.005mmということになる。2.55mmで0.005mmということは、すなわち5ミクロンというすばらしい精度である。それなら、どのくらい精確にスペクトル線に合わせこむことができるだろうか。この波長のずれは、ドップラー効果の視線速度にすれば600km/sということになる。

セイミツ型で5ミクロンといってもこの程度である。つまり、これで合わせたのでは視線速度で600km/sも狂ってしまう。何もない波長をみても仕方がないということである。

もし、非常に精確な発振器があれば問題は解決する。



初陣の256チャンネルスペクトロメーターいろいろな測定器で様子をみながらの観測

二つの音叉を鳴らすと、その差の周波数に「喰り」があらわれる。CO⁺ のスペクトル、2.55 mm の近くの波長で発振器を作って、その電波と、天体からの電波をまぜ合わせれば、もし CO⁺ の電波が来ていればこの発振周波数との喰りが、ちょうど測定しやすい低い周波数になる。

ちょっと、電波は苦手な向きに波長と周波数のことをおはなししておこう。電波の速さは光とおなじ、毎秒 30 万キロだから、波長 3 mm といえば、一秒間に一千億波だけ進む。止まってみている人からみれば毎秒一千億振動ということになる。これが周波数である。毎秒十億振動を 1 ギガヘルツとよび 1 GHz と書く。CO⁺ のスペクトルは、(2.55 mm と近似値を書いたが) 周波数では 117.6 GHz と、118.101 GHz の二本の線である。喰りの周波数としてはアメリカから寄贈された低雑音パラメトリック増幅器の使える 1.25 GHz をえらぶ。発振器の周波数は

$$117.6 - 1.25 = 116 \text{ GHz}$$

ときまる。

一本百何十万円也、クライストロン

このような周波数の発振器としてはクライストロンという真空管が使われる。困ったことが二つある。

一つはオネダンである。一年に何本しか売れないこんな球は、世界中で二〜三社しか作っていない。スバラシイ名人芸を必要とする真空管である。値段も高いしこわれやすい。メーカー保証寿命たったの 300 時間である。それでも我々は運のいい方である。外国から輸入しなければならぬ国では半年で入れば大よるこびだそうである。しかし、日本にメーカーがあるという幸運を私たちはつかむことはできなかった。私たちの半年分以上の研究費にあたる一本百何十万円也を、それも 3 月の 10 日になって、出せるわけがないのである。斎藤さんから貸していただくことにした。一本百何十万円、寿命保証 300 時間の真空管を借りて、「モシモキレタラ」とり返しのつかないことになる。快く貸して下さった斎藤さんに感謝したい。相模中研だってそんなに金持ちというわけではないのである。CO⁺ がみつければ、実験室ではむづかしい分子イオン分光に、宇宙電波分光の側から大きな貢献がある。という御自分の御専門の分野での将来にまで目を向けての斎藤さんの判断もあっただろう。

ともあれ、クライストロン (120 V 10) は、波長計、方向性結合器等々、一緒に借りて来た部品、測定器と一緒にめでたく私たちの研究室に落ちついた。

もう一つの困ったことは、それは周波数である。クライストロンの周波数をさっきの 116. ナニガシに合わせ、一定の精度で保たなければいけない。必要な精度は、

どんなわるくても 1 MHz ときめた。波長計では数百 MHz までしかはかれないとききほどお話しした。クライストロンの周波数は数 MHz はいつもフラフラしている。サテ。

これにはまたさっきの発振器と喰りの方法を使う。天体の電波のような弱い相手にはクライストロンのような強い発振器がいるが、今度は相手がクライストロンである。せいぜい天体の電波の 100 万倍くらいの強さでよい。低い周波数で安定な発振器を作りその周波数を上げて行く方法によって作ることができる。——といっても、自身の雑音を減らしたり、そう簡単にホイというわけには行かない。これは、私たちと一緒に仕事をしている宮沢さんが、日本通信機の阿部さんとここ半年がかりで開発を続けているものが完成間際なのでその一部を借りることにした。

天体からの電波をクライストロンとまぜて喰りを作るのは、高感度のミクサーが必要、これは日本電信電話公社の研究所のお世話になった。

というわけでチューナーはなんとかまとまった。

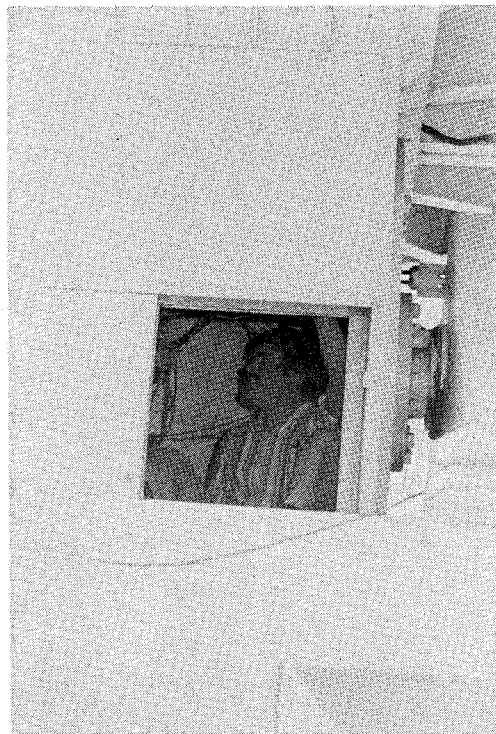
256 登場

さてそうやってつかまえた電波をスペクトルの形でみせてくれるのが分光計である。256 の異なった周波数を同時にしかも区別して増幅し処理する。日本通信機阿部さんのグループと二年がかりで作りあげ調整中だった私たちの 256 チャンネル分光計が使えるのである。256 が実戦初登場。実際にチューナー（私たちはフロントエンドという）をつないでみるといろいろと妙なことが起こる。そして分光計からのシグナルを計算機に入れると、計算機が知らんふりをしたり、一週間くらいは——三月のトピ石連休には子供まで動員して大きわぎだった。

HAPPY APRIL FOOLS DAY!

そしていよいよ ON THE AIR、観測開始である。3 月 30 日のよる。あちこちひっかかってうまく働いてくれない。特に、クライストロンの周波数安定化が、クーラーのスイッチでどこかにふっとんでしまったり……。二晩ロスする。ヨシ、それなら一人が受信機室に入って動作を監視しよう。からだのでっかいフリキスさんが、望遠鏡と一緒に傾くせまい受信機室にもぐりこんでツマミをまわす姿はなかなかユカイである。

そして 4 月 1 日どうやら狙いの CO⁺ の場所がふくんで来た。その興奮。雑音であれば出たりひっこんだりする筈である。だんだんと雑音の中からハッキリして来る。いや待てよ。近くにある筈の CO の電波——これはずいぶん強い——はどこにあるのだろう。「チョトマテグダサーイ」とフリキスさん。さっきの計算ちがっていた



望遠鏡の中に入ったフリキスさん

みたい。雑音からあたまを出して来たのは CO ですよ、そうすると CO⁺ はどこにあるだろう？ 三日三晩、不眠不休で観測を続ける CO はずい分ハッキリ出ているが CO⁺ は雑音にまけたのか、それとも存在してないのか、ついに応答ナンであった。「この電波はコレコレ以下」というのももちろん立派な結果である。となりの CO がちゃんと出ているのだから、「さがせどみえず」の結果も「確実な不成功」ということができる。CO に、エイプリルフールをされたというべきだろうか。

大 団 円

^{にころ}256 初登場で CO の電波がきれいに受かった。そして、どこに問題があるかもわかって来た。フロントエンドについても、「サテ次はどうするか」方向がつかめて来たように思う。宮沢さん、阿部さんの周波数安定化、この試運転の結果をどう生かすか。

「モリモトサーン、サイトウサンカラデンワ——」「もしもし、HO₂ という不安定な基があるんだけど、その精確な周波数の測定に成功したんだけどやりませんか」「エッ、そして周波数は？ くわしい話を聞きにすぐ伺います」「ガチャン」大急ぎでクルマの方にかけてす背中から宮沢さんの声が飛ぶ。

「斎藤さんに返すクライストロンをわすれちゃだめじゃないの——」

岩波書店

東京千代田一ツ橋/振替東京6-26240



* 岩波科学の本

14 気球をとばす

西村 純著

A 5 判変型・228頁 1300円

30~40キロの高空にのぼり、宇宙の観測をする大気球をとばしている著者が、その体験を生きいきと語る。

8 大地の動きをさぐる

杉村 新著

A 5 判変型・242頁 1000円

高い山、曲った地層をつくる大地のいとなみは過去の話ではなく今も続いている。動く大地にとり組む話。

7 地球をはかる

古在由秀著

A 5 判変型・222頁 1100円

地球の形はまん丸だろうか。くわしくはかると断面は楕円だ。人工衛星の運動からもっと正確にはかると……

2 望遠鏡をつくる人びと

森本雅樹著

A 5 判変型・212頁 1000円

もっと遠くを見たい。新しい望遠鏡を作って宇宙のなぞを探る天文学者たちは、どんな苦勞をしているのか

躍動する現代科学を的確にとらえる

科学 7月号 ● 360円 ▼ 24円

巻 頭/入試改善 いそがばまわれ

核地球化学……………黒田 和夫
—元素の起源と年令に—
関する研究の進歩

新しい技術による位置天文学…………古在由秀
乳腺とホルモン……………岡 孝己
—培養乳腺の細胞分化を中心に—

稲の比較栄養生理……………田中 明
—水稻の栄養特性と栽培技術—

浜岡原発周辺でのムラサキ ……市川 定夫
ツエクサの突然変異率の上昇 ……永田 素之

習性の脳構造への反映……………正井 秀夫

空間知覚の神経機構 II……………酒田 英夫
—異種感覚情報と運動命令信号の統合—