

# 星間分子スペクトル線の検出と“宇宙電波分光学”

海 部 宣 男\*

昨年末から今年にかけて、星間空間における  $\text{NH}_3$  分子、 $\text{H}_2\text{O}$  分子、 $\text{H}_2\text{CO}$  分子のマイクロ波スペクトル線の発見がつつぎと報告された。さまざまな分子が星間空間に存在するであろうことは以前から予想されていたが、OH 分子スペクトルの発見以後、多くの努力にもかかわらず新しい分子の発見が行なわれていなかっただけに、これらのあいつぐ発見は電波天文学に大きな活気を与えている。

上記の分子スペクトル線はいずれもマイクロ波領域にあり、後に述べるように、これらの発見は、電波天文学における短波長領域での技術的發展に負うところが大きい。と同時に、銀河系内において予想以上に多様な分子が形成されているらしいこと、またいくつかの分子は、アクティブな H II 領域と強い関連を持っているらしいことが明らかにされてきた。さらに、今後、短センチメートル波・ミリ波領域において、“宇宙電波分光学”とも呼ぶべき天文学の新しい分野が開け、多くのインフォメーションをもたらすことも期待される。そこで、最近の発見についてまとめると同時に、分子スペクトル観測

とその展望についていろいろな角度から述べてみたい。

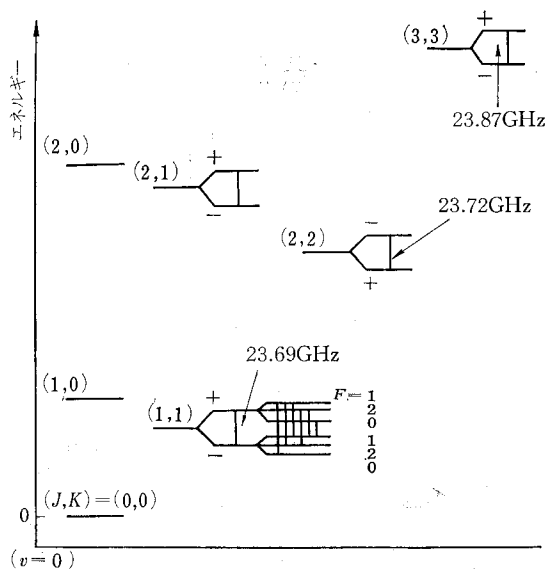
## 1. $\text{NH}_3$ , $\text{H}_2\text{O}$ , $\text{H}_2\text{CO}$ 分子スペクトル線の発見

### a) $\text{NH}_3$ (アンモニア)

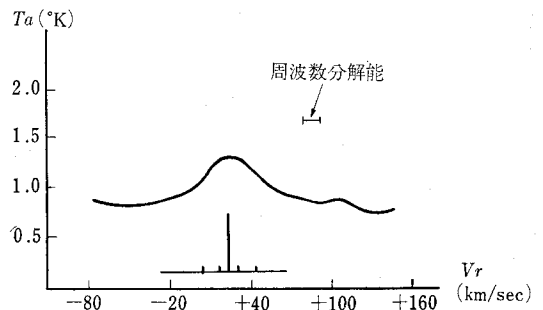
昨年、カリフォルニア大学のタウンズ等は、ハット・クリーク (アメリカ) の直径 6m のミリ波用パラボラアンテナを用いて、銀河中心方向の OH 電波源のすぐ近くの位置に、アンモニアの輝線スペクトルを検出した。

この線スペクトルは、周波数 23.69 GHz (波長 12.5 mm)、反転遷移 (インバージョン・トランジション) と呼ばれるアンモニア特有のスペクトルであって、以前から原子時計の発振基準として利用されていたものである。三角錐形のアンモニア分子において、3つのH原子で構成する平面をよぎってN原子が垂直に振動し、その結果として、 $\text{NH}_3$  分子の各回転準位に対して、座標回転に関して対称および反対称の二つのエネルギー準位が生じる。この二つの準位の間の遷移が反転遷移で、その周波数は分子の振動状態 (振動量子数  $\nu$  であらわされる) によって異なり、また回転状態 (回転量子数  $J$ 、およびその分子軸方向の成分  $K$  であらわされる) によっても少しずつ異なる。第1図は、 $\nu=0$  における  $\text{NH}_3$  分子のエネルギーレベルと反転遷移を示す。この図には、N原子の4重極能率による超微細構造も書いてあるが、最初の観測では、これらは分離されていない。最初に発見されたのは、基底振動状態 ( $\nu=0$ ) の、 $(J, K)=(1, 1)$  回転状態における反転遷移であったが、その後、 $(2, 2)$  状態、 $(3, 3)$  状態、 $(4, 4)$  状態でのスペクトルが検出されたとのことである。

第2図、a, b は、 $(1, 1)$  スペクトル線の形および



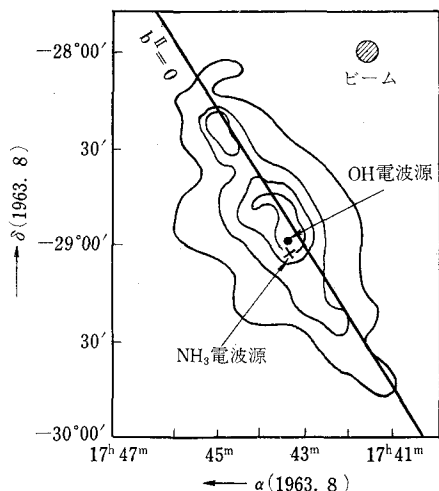
第1図  $\text{NH}_3$  回転スペクトルと反転遷移。超微細構造は  $(1, 1)$  準位についてのみ記してある。



第2図 a. 銀河中心で観測された  $\text{NH}_3$   $(1, 1)$  反転遷移のスペクトル。超微細構造による理論的スペクトルを併せて示してある。

\* 東京大学理学部天文学教室

N. Kaifu: Microwave Spectra of Interstellar Molecules "the Radio Spectroscopy"



第2図 b. 銀河中心の  $\text{NH}_3$  電波源の位置. コントアは波長 6 cm での連続スペクトル観測による.

電波源の発見された位置である。(1, 1) スペクトル線のアンテナ温度  $T_a \sim 0.5^\circ\text{K}$ , 視線速度  $V_r \sim 23 \text{ km/sec}$ , 電波源の視直径  $< 5'$  であった.

この場合のように, 同じ分子についていくつかのスペクトル線が観測されれば, それらの強度比から, 一定の仮定のもとに分子ガスの温度を求めることができる.(1, 1) 遷移と (2, 2) 遷移とから求めたアンモニアの温度は, 約  $23^\circ\text{K}$  であった. この温度と, 電波源の大きさ  $\sim 3'$  とする仮定とから,  $\text{NH}_3$  ガスの光学的厚さ  $\tau \sim 0.7$ , 視線方向にある分子の総数  $n \cdot L \sim 2 \times 10^{16}/\text{cm}^2$  と計算された.  $\text{NH}_3$  分子スペクトルが, 銀河中心以外にも多くの場所で検出されるならば, これらの手続きによって, H I 領域のよいインフォーマーションが得られる. しかし, 現在までのところ, 他の場所での検出は報告されていない. このことと, OH 電波源に極めて近い位置にあることを考え合わせると,  $\text{NH}_3$  分子は星間空間に広く存在はしておらず, ある過渡的状態のもとのみ存在しているということも予想される. 強度の極めて弱いスペクトルなので, 今後の観測をまたねばならない.

#### b) $\text{H}_2\text{O}$ (水蒸気)

水分子の回転スペクトルは, 地球大気吸収スペクトルとして強くあらわれることもあって, 地上ではよく研究されている.  $\text{H}_2\text{O}$  の基底振動状態におけるエネルギー準位および遷移を, 第3図に示した.

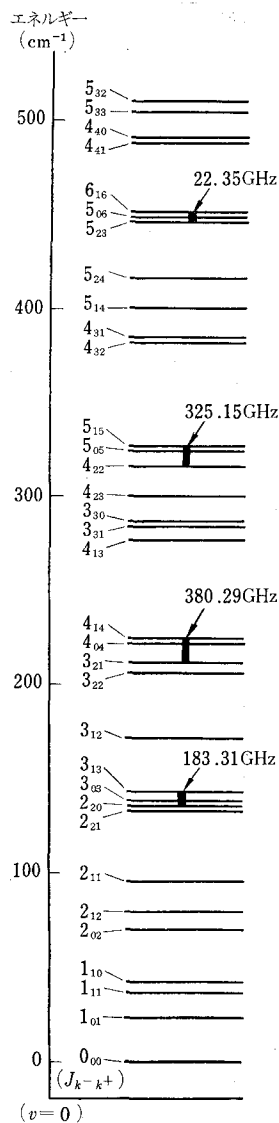
電波領域でのスペクトル線は,  $J_{k-k+} = 3_{13}$  回転状態— $2_{20}$  回転状態間の遷移 ( $3_{13}$ — $2_{20}$ ) 遷移と呼ぶ. 波長 1.6 mm), ( $6_{16}$ — $5_{23}$ ) 遷移 (波長 13.5 mm), ( $5_{15}$ — $4_{22}$ ) 遷移 (波長 0.9 mm) であるが, 波長 1.6 および 0.9 mm のスペクトル線は, 地球大気による吸収が強く, 星間水蒸気の電波を受信することは困難である (第8図). 上

記のタウンズ等は, 13.5 mm の ( $6_{16}$ — $5_{23}$ ) スペクトル線の観測を試みたところ, 電波源 W 49, オリオンAおよび銀河中心の  $\text{NH}_3$  電波源の位置に, 極めて強い輝線スペクトルを発見した. その強さは, OH 分子の場合のように, メーザー作用の存在を思わせるものであった. タウンズ達は直ちに, NRL (アメリカ) の 26 m パラボラアンテナにより高分散で観測を行なった. その結果によると,  $\text{H}_2\text{O}$  分子スペクトル線は, W 49 をはじめとして多くの H II 領域の OH 電波源の近くに検出され, その強さはアンテナ温度  $T_a$  で  $1000^\circ\text{K}$  以上にもおよんでいる.

この観測でも電波源は分解されず (アンテナの分解能は  $2'.3$ ), 視直径は  $0'.7$  以下, したがって  $\text{H}_2\text{O}$  電波源の輝度温度  $T_b > 50,000^\circ\text{K}$  となり, 推定される H II 領域の温度よりもはるかに高い. さらに W 49 では,  $V_r = +16, +11, +9 \text{ km/sec}$  にある三つのスペクトル成分の強さが時間的に変化しているらしいこ

とがわかった. その変化の速さは3週間以下の程度で, もしこれが  $\text{H}_2\text{O}$  電波源全体の変化を反映していると考えれば, 電波源の大きさは 3,500 天文単位以下, すなわち W 49 の距離を 14 kpc として, 視直径  $< 0'.3$  となる (OH 電波源の大きさ  $\sim 10$  天文単位). これを考慮すれば,  $\text{H}_2\text{O}$  電波源の  $T_b \geq 10^9^\circ\text{K}$  となり, 物理的に実現することはできない. したがって,  $\text{H}_2\text{O}$  の場合も, 輝線スペクトルにはメーザー機構が働いていると考えねばならないことになった.

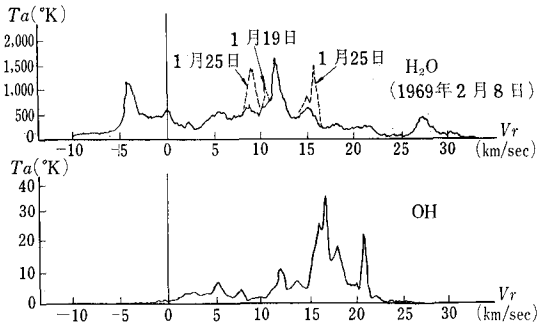
第4図は, W 49 の  $\text{H}_2\text{O}$  スペクトルを同じ W 49 の OH スペクトルと比較したものである. OH にくらべ,



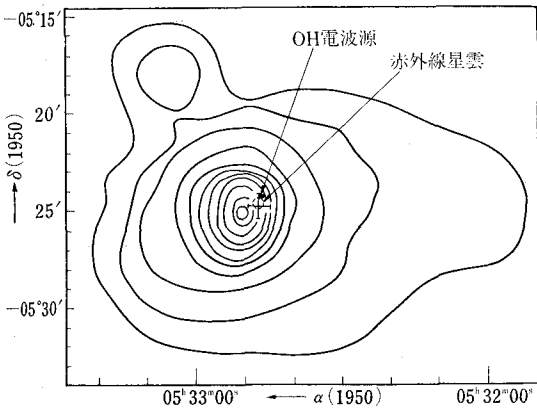
第3図  $\text{H}_2\text{O}$  回転スペクトル. マイクロ波での4本の遷移を示してある. このうち, ( $5_{23}$ — $6_{16}$ ) 遷移が検出された.

H<sub>2</sub>O のスペクトルは非常に強く、1つ1つのスペクトル成分の幅も広いと同時に、全体として極めて広い速度範囲にわたっている。この図にはみえないが、W 49の場合、H<sub>2</sub>O スペクトルのすそが  $V_r \sim -150$  km/sec 付近まで広がっているとのことであり、しかも空間的には極めて狭い領域に限られているのであるから、これは H<sub>2</sub>O 電波源における何か非常に激しい運動を反映しているものとみなしなければならない。第1表に H<sub>2</sub>O 電波源をまとめてみたが、これで明らかなように、ほとんどすべての H<sub>2</sub>O 電波源の位置が OH 電波源と一致し、また大部分が赤外線源に一致している。これらは同時に、いわゆるコンパクト H II 領域——生成直後の星またはその集団によって加熱された高密度・小スケールのガス雲と考えられる——近傍にある。例として、オリオンAを第5図にあげた。

以上のような H<sub>2</sub>O 分子スペクトル線の特徴、すなわ



第4図 W 49における H<sub>2</sub>O および OH 輝線スペクトルの比較。H<sub>2</sub>O には、スペクトルの日による変化も示されている。



第5図 オリオンAの H<sub>2</sub>O 電波源の位置。コントア・マップは、波長 2cm での連続スペクトルの観測による。OH 電波源を黒い4角形で、赤外線源を点線の円で、H<sub>2</sub>O 電波源の位置とその誤差範囲を十字形で示す。

第1表 発見された H<sub>2</sub>O 電波源のまとめ

H <sub>2</sub> O 電波源の位置	OH 電波源との相関	赤外線源との相関	備考
W3			コンパクト H II 領域
W3A	○	○	"
オリオンA	○	○	"
大犬座 V Y	○	○	星雲状物質+変光星, 極めてコンパクトな H II 領域を伴っている可能性がある。
サジタリウス B2	○		銀河中心
W49	○		コンパクト H II 領域
W51	○	○	"
W75	○	○	"

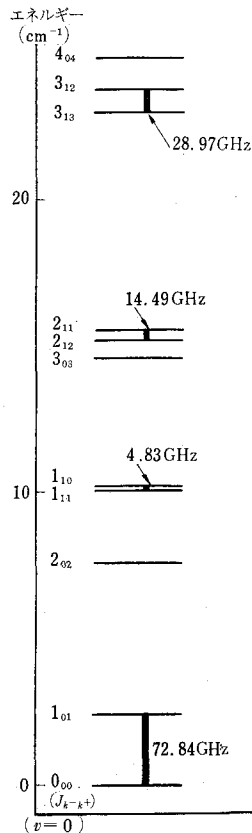
ち極めてアクティブでありかつ小さな電波源であること、時間変化をすること、コンパクト H II 領域に存在し OH 電波源・赤外線源と強い相関をもつこと、等はいずれも星の生成、惑星系の形成といった段階での状態を予想させるものであって、OH スペクトル観測とも関連させて、こういった問題への手がかりとなるのではないかと

いう期待を持っている。また、このような状態下で、他にもさまざまな分子が形成されていることも充分考えられることである。

c) H<sub>2</sub>CO (フォルムアルデヒド)

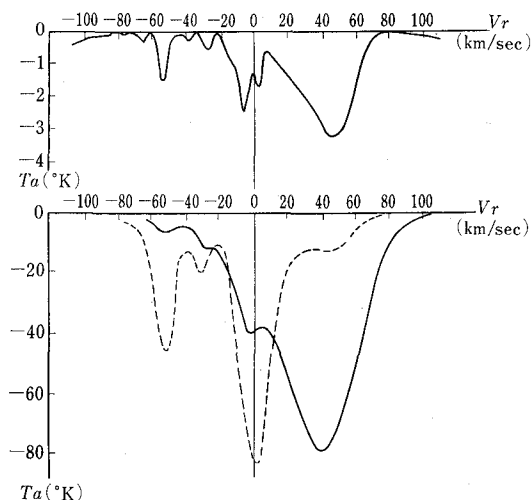
フォルムアルデヒドは、星間空間において検出されたはじめての有機分子である。その回転エネルギーレベルは、基本的には H<sub>2</sub>O と同様の構造をもっている。(第6図参照)

発見されたスペクトル線は吸収線で、(1<sub>11</sub>—1<sub>10</sub>) 遷移による波長 6.2cm の回転スペクトルである。グリーンバンク (アメリカ) の 42m パラボラを用いて、ツッカーマン等によって検出された。現在、ブリーフ・レポートが出されているのみで、詳しい観測結果は



第6図 H<sub>2</sub>CO 回転スペクトル。(1<sub>11</sub>—1<sub>10</sub>) 遷移が検出されている。

未発表であるが、探索は24個の電波源について行なわれ、その中、W 49、銀河中心、カシオペアAなど15個の電波源を背景として、 $\text{H}_2\text{CO}$ の吸収線が見出された。このことは、 $\text{H}_2\text{CO}$ 分子が銀河系内にかなり広く分布していることを意味している。第7図に、銀河中心（サジタリウスA）方向の $\text{H}_2\text{CO}$ 吸収スペクトルを示す。H原子の21cm吸収線、OH分子の18cm吸収線の様子と比較すると、全般によく一致していることがわかる。HよりはOHの方によく一致しているが、これはHI領域



第7図 銀河中心方向（サジタリウスA）における $\text{H}_2\text{CO}$ 吸収スペクトルと、H、OH吸収スペクトルとの比較。

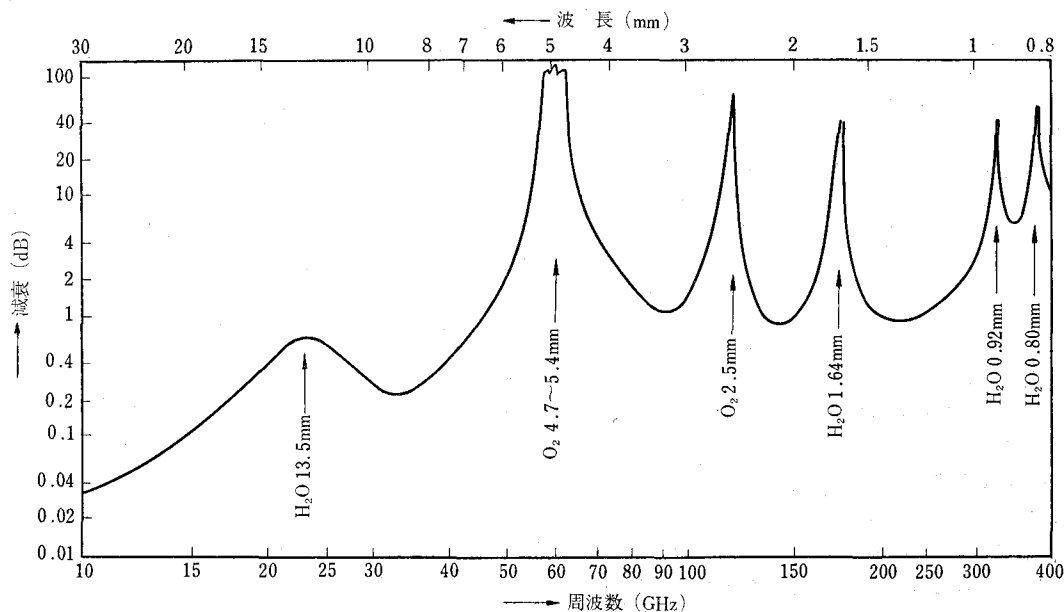
において、多分低温の分子のできやすい部分があることを意味しているのだろうか。 $\text{H}_2\text{CO}$ の場合、まだ $\text{NH}_3$ におけるように複数の線スペクトルがみつかっていないから、ガスの温度は決められない。仮に $\text{H}_2\text{CO}$ ガスの励起温度として $10^\circ\text{K}$ を仮定すれば、第8図の $V_r = +41$  km/secのスペクトル成分の $\tau \sim 0.075$ 、視線方向の分子総数 $n \cdot L$ は $10^{14} \sim 10^{15}/\text{cm}^2$ となる。最近発表された第2のレポートによれば、 $\text{H}_2\text{CO}$ ガスの励起温度は極めて低く、 $\leq 1.8^\circ\text{K}$ とのことである。

第7図でわかるように、 $\text{H}_2\text{CO}$ 分子には、 $(1_{11}-1_{10})$ 遷移の他に $(0_{00}-1_{01})$ 遷移（波長4.1mm）、 $(2_{12}-2_{11})$ 遷移（20.7mm）、 $(3_{13}-3_{12})$ 遷移（10.0mm）等のスペクトル線があり、いずれも受信可能な波長域にある。これらの検出ができれば、HI領域に関する詳しい情報が得られる。また $(1_{11}-1_{10})$ 遷移は超微細構造により、幅40 KHzの範囲にわたって5本のスペクトル線に分れるので、高分散の観測によってこれらを分離することも可能である。

## 2. 分子のマイクロ波スペクトルと観測技術

これまでに観測されている分子の電波スペクトル線をまとめると、第2表のようになる。

電波天文学において、未知の線スペクトルを検出しようとするとき、その正確な周波数を知ることが極めて大切である。電波では、光の場合と異なり広い周波数範囲のスペクトルを同時にとることはできない。また電波望遠鏡は視野をもたない（1点ずつしか観測できない）か



第8図 地球大気のみくろ波吸収スペクトル。減衰10dBでは、電波の透過率は10%となり、観測は極めて困難になる。

ら、電波源を探すには非常に長い観測時間を要する。したがって、目的とするスペクトル線の周波数がある程度正確にわかっていなければ、雲をつかむようなことになってしまう。21 cm のH原子スペクトル線の周波数はかなり詳しくわかっていたし、OH 分子の場合にも、実験による正確な周波数測定がなされてはじめて発見されている。OH 分子スペクトル線の発見以後、CH, SiH のラムダ・ダブリング間の遷移によるスペクトル線の検出が盛んに試みられたにもかかわらず未だに成功していないのは、まだ正確な周波数が実験的に確認されていないことによるのであろう。

さて、ミリ波～短センチメートル波の領域には、回転スペクトルを中心にして分子スペクトル線が数多くあり、従来から分子構造研究の手段として電波分光学的実験が行なわれている。NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>CO などはいずれも早くから測定され、正確な周波数も知られていた。それが最近まで電波天文学において検出されなかった原因は、主として観測技術上の限界によっている。

その第一は、電波望遠鏡である。第2表の中で最近発見された線スペクトルについてみてみると、H<sub>2</sub>CO および OH  $^2\Pi_{3/2}$  はグリーンバンクの 42 m パラボラ、OH  $^2\Pi_{3/2}$ ,  $J=5/2$  のスペクトル線はアルゴンキン(カナダ)の 45 m パラボラ、NH<sub>3</sub> および H<sub>2</sub>O はハット・クリークの 6 m ミリ波アンテナによって発見されている。前二者はいずれも、最近活動を開始した高精度大電波望遠鏡であって、グリーンバンクの 90 m パラボラ、パークス(オーストラリア)の 64 m パラボラといったこれまでの主力電波望遠鏡(鏡面は金網)を土台にした技術的發展によって実現が可能となったものである。これらによって、波長 1 cm 近くまでの大口径による観測が可能となってきたわけである。

観測技術の進展の第二は、受信器の発達である。物性工学の発展および通信方面からの要請に伴ない、高周波でよい特性をもつ半導体が開発され、ミリ波領域でも感度のよい受信器が作られるようになってきた。これによって電波天文学は、ここ 2～3年の間にミリ波領域にまで急速に手をのぼしつつある。近い将来、ミリ波でパラメトリック増幅器、レーザー増幅器が実用化されれば、この分野での研究はさらに活発になるであろう。

このように、短波長域での分子スペクトルの研究は、周波数もよくわかっており、観測技術も進歩しつつある、ということで今後の発展が予想される。その展望として、どのような分子の観測が考えられるかを、主なものをひろってまとめてみよう。

最初に一般論として、どのような分子が星間空間に多く存在するかという問題では、① 存在比の大きな元素で構成され、② 構造が簡単で、③ 安定な分子、という

第2表 これまでに観測された分子スペクトル線

	電子状態	遷移	周波数(MHz)	備考
O <sup>16</sup> H	$^2\Pi_{3/2}$	$J=3/2, F=1\leftrightarrow 2$	1612.231	ラムダ・ダブリング遷移
		$1\leftrightarrow 1$	1665.401	
		$2\leftrightarrow 2$	1667.358	
		$2\leftrightarrow 1$	1720.527	
	$^2\Pi_{3/2}$	$J=5/2, F=2\leftrightarrow 3$	6016.746	
		$2\leftrightarrow 2$	6030.739	
		$3\leftrightarrow 3$	6035.085	
		$3\leftrightarrow 2$	6049.084	
	$^2\Pi_{1/2}$	$J=1/2, F=0\leftrightarrow 1$	4660.241	
		$1\leftrightarrow 1$	4750.656	
$1\leftrightarrow 0$		4765.562		
O <sup>18</sup> H	$^2\Pi_{3/2}$	$J=3/2, F=2\leftrightarrow 2$	1639.460	
NH <sub>3</sub>	$1\Sigma$	$J=1, K=1$	23694.5	反転遷移
		$J=2, K=2$	23722.6	
		$J=3, K=3$	23870.1	
		$J=4, K=4$	24139.4	
H <sub>2</sub> O	$1\Sigma$	$6_{16}-5_{23}$	22235.22	回転スペクトル線
H <sub>2</sub> CO	$1\Sigma$	$1_{11}-1_{10}$	4829.649	回転スペクトル線

ことになる。これらはいずれも重要な条件ではあるが、①/ レーザー作用といった非線形増幅効果があれば、あまり数の多くない分子でも強いスペクトル線を観測し得ること、②/ H<sub>2</sub>CO といった、(今までの常識からみれば)複雑な分子も存在することが確認されたこと、③/ 比較的安定でない分子でも、過渡の状態で観測されることも考えられる(OH など)、等を考慮すると、必ずしも固定的に考えるわけにはいかない。

つぎに、分子のマイクロ波スペクトル線の発生機構について考えよう。

#### i) 回転スペクトル

分子の回転運動によるエネルギー準位間の遷移、つまり回転スペクトル線は、ミリ波～サブ・ミリ波領域に多くあらわれる。最も簡単な2原子分子では、1つの回転(分子軸に垂直な方向を回転軸とする)を考えればよいので構造は簡単だが、多原子分子では分子の幾何学的対称性が悪くなるにしがってスペクトル構造も複雑になる。たとえば H<sub>2</sub>O 分子では、3つの回転軸を考えねばならない。それだけ、エネルギー準位を表わす量子数も増えてくる。興味のある主な分子の回転スペクトル線をあげると、すでに発見された H<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>CO の他に、CaH (波長 1.2 mm), CO (2.6 mm), NO (2.0 mm), CS

(6.1 mm), HCN (3.4 mm), H<sub>2</sub>S (1.8 mm), CH<sub>3</sub>F (3.0 mm), CH<sub>3</sub>OH (6.2 mm) 等がある (いずれも, 基底回転状態からの遷移, 詳しくは第3表参照). また, これらの分子の原子核を同位元素でおきかえたアイソトープ分子 (HDO, HC<sup>13</sup>N など) も, 多くミリ波領域に回転スペクトルをもっている.

ii) ラムダ・ダブリング

分子全体の電子軌道角運動量の分子軸成分  $A$  (ラムダ) が0でないような分子では, 分子回転と電子の軌道運動との間に相互作用がおり,  $\pm A$  の縮退がとれて, 各回転状態のエネルギー準位が二つに分れる. これがいわゆるラムダ・ダブリングであって, この二つのエネルギー準位間に遷移がおき, その周波数は, 一般に回転スペクトルの周波数よりもかなり低い. OH については既によ

第3表 天文学上興味のある分子のスペクトル線

分子	遷移	周波数 (MHz)
(回転スペクトル)		
CaH	$J=3/2-1/2$	254,080
CO	$J=0-1$	115,270.56
CS	$J=0-1$	48,991.0
NO	$J=3/2-1/2$	150,176.3
H <sub>2</sub> S	$1_{01}-1_{10}$	168,762.51
HCN	$J=0-1, F=1-1$	88,630.11
	$F=1-2$	88,631.49
	$F=1-0$	88,633.56
HC <sup>13</sup> N <sup>14</sup>	$J=0-1$	86,339.49
DC <sup>12</sup> N <sup>14</sup>	$J=0-1$	72,414.62
HDO	$2_{21}-2_{20}$	10,278.99
	$3_{22}-3_{21}$	50,236.90
CH <sub>3</sub> F	$J=1-2, K=1$	102,140.85
	$K=0$	102,142.61
CH <sub>3</sub> OH	$J=0-1, K=0$	48,374.8
(ラムダ・ダブリング)		
CH	$^2\Pi_{1/2} J=1/2$	~3,400
SiH	$^2\Pi_{1/2} J=1/2$	~2,940
SH	$^2\Pi_{1/2} J=3/2$	111.58
HCN	$J=1, l$ -ダブリング	448.94
(スピン微細構造および超微細構造)		
O <sub>2</sub>	$N=1, J=0-1$	118,750.5
	$N=1, J=1-2$ 等	54,000~65,000 多数
NH	$N=1, J=0-1$	26,000
H <sub>2</sub> <sup>+</sup>	$N=1$	~100
H <sub>2</sub>	$^3\Pi_u, J=2, K=1, F=2-3$	707.55
	$F=1-2$	462.44

く知られているが, 他の分子は充分わかっていない. CH (~8.8 cm), SiH (~10.2 cm?), SH (26.1 cm) などあげられるが, CH はアメリカ, オーストラリアで盛んに探されたにもかかわらずみつからなかった. SiH, SH もやはり努力は報いられていない.

iii) 電子スピン微細構造

電子スピン——回転相互作用による微細構造間の遷移では, O<sub>2</sub> 分子 (波長 5 mm 附近のバンド・スペクトルおよび 2.5 mm) などがよく測られており, 他に NH (~11 mm) 等があるが, i), ii) にくらべ遷移確率は ~10<sup>-4</sup> 程度で, スペクトルとしては極めて弱くなってしまふ.

iv) その他のマイクロ波分子スペクトル

反転遷移は, NH<sub>3</sub> 分子のみが H 原子平面の N 原子に対するポテンシャル・バリアが低いためにマイクロ波領域にスペクトルがあらわれるが, 似た構造をもつ他の分子 (PH<sub>3</sub> など) では, 極めて低周波のスペクトルになってしまう. ただし, NH<sub>3</sub> のアイソトープは, やはりマイクロ波に反転遷移をもっている. NH<sub>2</sub>D の反転遷移スペクトルの波長は 2.5 mm である.

強い興味のもたれている H<sub>2</sub> 分子は, マイクロ波に適当なスペクトルを持っていない. 準安定の  $^3\Pi_u$  状態に, 超微細構造間の遷移 (42.4 cm および 64.9 cm) があるが, 寿命が極めて短いのであまり有望でない.

以上のような, 天文学上興味のもてそうな分子のスペクトルを第3表にまとめた. ただし, これらの中には, 地球大気中の O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O による吸収のため観測不可能なものもある. 第8図の地球大気吸収スペクトルを参照.

星間空間では, スペクトル線の幅をきめるのは, ガスのランダムな運動によるドップラー効果が主であると考えられる. この場合には, スペクトルの吸収係数  $\kappa$  は, スペクトルの中心周波数  $\nu_0$ , ガスの温度  $T$  に対し,  $\kappa \propto \nu_0/T$  となる. つまりスペクトル線の強さは, 周波数に比例するわけである.

アンテナに受かるスペクトル線の強さは, 光学的深さ  $\tau = \int_0^L \kappa dl$  (積分は視線方向にとる), 背景の空間から来る電波の強さを輝度温度で  $T_B$  °K とすれば,

$$T_a = (T_e - T_B)(1 - e^{-\tau}) \text{ (°K)}$$

したがって,  $T_e > T_B$  ならばスペクトル線は輝線に,  $T_e < T_B$  ならば吸収線として観測される. 一般に,  $T_B \propto \nu^{-\alpha}$  ( $\alpha = 2 \sim 3$ ) であるから, 高周波では輝線として見えやすい. したがって, HI 領域に広く分布する分子を観測しようとするとき, 低周波におけるスペクトル線は, H II 領域など高温の電波源を背景として強い吸収線を得ることによって詳しいプロフィールが得られるが, ミリ波あたりでのスペクトル線の観測はむしろ電波源をさけて, 輝線の観測を行なうことになるかもしれない (分子自身の温度にもよる). 波長 3 mm では, たとえばオ

リオンAの  $T_b \sim 1^\circ\text{K}$  となる。  $\tau$  の大きなスペクトル線を用いれば、21cmの水素線で行なったと同様に、分子による“銀河構造”を描き出すことも可能になる。一方ミリ波では、宇宙空間はほぼ  $3^\circ\text{K}$  (黒体輻射) にみえるから、 $T_b < 3^\circ\text{K}$  の極めて温度の低いスペクトル線については、やはりあらゆる方向についての吸収スペクトル観測が可能なのである。

### 3. 東京天文台ミリ波アンテナによる星間分子観測計画

以上述べてきたように、短センチメートル波における分子スペクトルの検出は、天文学に、星の生成、星間空間の状態、元素の存在比等に関する新たな情報をもたらすことになった。これがさらにミリ波までおし進められることによって、一つの新しい研究分野となるのはそう遠いことではない。現在、「宇宙電波将来計画」として具体化されている直径45mの高精度パラボラアンテナは、大パラボラによるミリ波天文学の開拓を世界に先がけて行ない得る計画であるが、ここに述べてきた“宇宙電波分光学”の研究にも、その高精度と大集光力によって飛躍的發展をもたらすものと期待される。

さて、私達東京大学の宇宙電波のグループでは、今年新設された東京天文台の6mミリ波用パラボラアンテナを用いて、ミリ波領域の分子スペクトル観測を行なう計画をたて、現在準備中である、計画は、

- i)  $\text{H}_2\text{O}$  (5<sub>23</sub>—6<sub>16</sub>) スペクトル (13.5mm) の観測
- ii)  $\text{H}_2\text{CO}$  (0<sub>00</sub>—1<sub>01</sub>) スペクトル (4.1mm) の検出
- iii)  $\text{HCN}$  (0—1) スペクトル (3.4mm) の検出

i) の  $\text{H}_2\text{O}$  は、OH と同様複雑な機構が背後にあると考えられ、アクティブな領域に深くかかわる問題として、長期的に、かつ観測精度の可能な限りの向上が現在要請されている。そのためには、6mのパラボラではさまざまな面で不十分で、早い機会により大きな、精度のよいアンテナによる観測に移行していきたいと考えている。

ii) は、 $\text{H}_2\text{CO}$  の基底回転状態からの、未検出の回転スペクトルの検出・観測計画である。スペクトル強度が大きいのでかなり大きな  $\tau$  をもっている可能性があり、輝線の観測をも期待している。もしこれが検出されれば、先に述べたように、HI領域のジェネラルな研究の一つの手段を得ることになる。iii) は、検出の可能性については全くわからないが、検出されれば、3本の超微細構造の分離が可能である。周波数の正確に決まった局部発振出力を得ること、低雑音ミキサの製作など、受信器システムに技術的に克服すべき問題はあがあるが、いまのところ、来年春に  $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{H}_2\text{CO}$  の観測を開始することを目標として準備を進めている ( $\text{HCN}$  の観測には、アンテナの追尾装置を必要とする)。これらはいずれも、同じ波長での連続スペクトルの観測を併せて行ないたいと考えている。

## 西村製の反射望遠鏡

- |          |                   |
|----------|-------------------|
| 30cm “A” | カセグレン・ニュートン兼用     |
|          | 10cm 屈折望遠鏡 (f/15) |
| “B”      | カセグレン焦点           |
|          | 15cm 屈折望遠鏡 (f/12) |
| 40cm “A” | カセグレン・ニュートン兼用     |
|          | 15cm 屈折望遠鏡 (f/15) |
| “B”      | カセグレン焦点           |
|          | 20cm 屈折望遠鏡 (f/12) |

株式会社 西村製作所

京都市左京区吉田二本松町27  
電話 (771) 1570, (691) 9589

カタログ実費90円郵券同封



30 cm 反射望遠鏡

ニュートン・カセグレン兼用