

星の水蒸気

辻 隆 (天文)

最近天文学における新しい分子探しと云えば、電波天文学が全て話題をさらってしまったようである。しかし星特に低温度星や、時として太陽のスペクトル中にも今尚新しい分子の同定が話題になることがある。もともと星の大気中には約 100 種の元素が入り乱れて複雑な化学平衡系をなしているわけであり、ごく少量でも存在すると云うのならおそらく考え得るあらゆる簡単な分子は全て存在しているはずである。従って特別な理由もないのにある分子が存在するかしないかを論ずることは、一般にはそれ程重要なことではないかもしれない。しかし逆に多量に存在を予想された分子が見つからないとすれば、これはかなり問題である。このような分子として、ごくありふれた分子である H_2O の例がある。事実低温度星に H_2O が存在するかしないかは多くの紆余曲折をへて現在も尚新しい問題をなげかけているように思われる。この問題は低温度星研究の一断面として多くの興味ある問題を含んでいると思われるので簡単に説明することにしたい。

星は低温度星と云えどもかなり高温であるが、温度が $2000^{\circ}K$ 以下になると巨星、超巨星等のガス圧の低い大気中でも大部分の酸素は CO と H_2O になっていることは化学平衡の計算からよく知られている。従ってスペクトル系列の最も晩期の星である M 型星には CO の他に H_2O がかなり多量に存在するはずである。 H_2O 分子の振動回転遷移は赤外領域に強い吸収を持ち、星の大気に於る輻射伝播に大きな効果を持つので重要である。一方地球大気中に含まれる H_2O 分子も同様の吸収を示すので、星の H_2O の赤外観測は著しく困難であった。やっと 1960 年代になって気球に載せた望遠鏡により数個の M 型星の近赤外スペクトルが観測され、多かれ少かれ全ての M 型星に予想される H_2O の吸収が観測されたことが報告された。これでめでたく低温度星に於る H_2O の問題は一応解決されたかと思われたが、その後赤外観測の技術も進歩しより精密な観測が行なわれて

みると、上記の結果は確認されず大部分の M 型星には H_2O は存在しないことがほぼ明らかとなった。 H_2O の存在が確認されたのは M 型星の中でも最も低温のミラ型変光星と呼ばれる特殊な星に限られる。

この結果は星の大気に於る化学平衡の計算による予想を裏切るものでありたいへん困ったことであった。このような困難の解決として、例えば M 型星は化学組成が異常で酸素と炭素がほぼ等しい組成を持つため、より安定な CO 分子ができてしまうと H_2O 分子を作るに必要な酸素が無くなってしまいうため H_2O が観測されないのではないかと云うような仮説も提案された。しかし多くの M 型星で酸素と炭素がほぼ等量存在すると云うことはいかにも不自然な仮定である。これに対する妥当な解決はおそらく次の如くである。即ちこれら低温度星に関する輻射エネルギー分布や視直径の観測結果の詳細な検討から、これら M 型星の温度は従来考えられていたよりも数百度高いと考えるべきであることがほぼ明らかとなった。即ち低温度星といえども、一般に考えられていた程低温ではなく、従って多量にできると思われた H_2O も実は温度が高いため解離してしまったと考えれば、 H_2O に関する観測結果は何の矛盾もなく説明できる。結局我々はごく簡単な思い違いに気附くのにも多くの観測と長い時間を要したことになる。

さて、これで H_2O の問題は一応かたづけたいと思いついた頃、又妙な観測が現れた。今迄の赤外観測は主として PbS 検知器を用いた $1-3\mu m$ 程度の近赤外が主であったが、少し波長域を伸ばして地球の強い水蒸気に防げられた $5-8\mu m$ の領域を NASA の飛行機に載せた望遠鏡で観測した結果である。この結果はミラ型変光星に予想される H_2O の $6.3\mu m$ にある ν_2 基準振動による吸収が全く存在しないことを示した。これは $2.7\mu m$ にある ν_1 , ν_3 基準振動が強く観測されることを考えると、少々理解に苦しむ結果である。又今迄近赤外領域にも H_2O の観測されていない M 型超巨星等については、やはり最

も吸収係数の大きな $6.3 \mu\text{m}$ の ν_2 基準振動による吸収帯も観測されないが、 $5-8 \mu\text{m}$ の輻射はむしろ予想されるよりも過剰であるらしい。これらの観測を行った人々は、これらの異常についてほとんど説明を与えていない。

この観測に関する一つの解釈は次の如くである。これらの低温度星は一般に多量のガスを吹き出しており、我が太陽の吹き出す太陽風は $10^{-14} M_{\odot}/\text{year}$ 程度のガスを吹き出すにすぎないが、多くの赤色超巨星やミラ型変光星は $10^{-7} \sim 10^{-5} M_{\odot}/\text{year}$ 程度のガスを吹き出している。これらのガスはすでに光学スペクトルの吸収線として、又電波領域では H_2O , OH , SiO 等のレーザー輝線や、又 CO , SiO 等の熱輻射としてもすでに観測されている。これだけのガスが星のまわりにあれば、多くの分子の赤外スペクトルも当然観測されてもよいはずである。このようなガス中の H_2O 分子は中心星の輻射により適当に温められる熱輻射を出している。例えば H_2O の $6.3 \mu\text{m}$ ν_2 基準振動は $5-8 \mu\text{m}$ の附近にこのような輝線スペクトルを示すはずである。ミラ型変光星ではこのような星のまわりのガスの熱輻射が、星の光球でできた H_2O 吸収帯をおおいかくしてしまう。一方光球では H_2O の吸収を生じない程の高温のM型超巨星では、星のまわりのガスから出る H_2O 等の輝線スペクトルが加り、光球からの輻射として予想されるよりも過剰な輻射が観測される。実際星の光球からのスペクトルを境界条件として、星のまわりのガス中での輻射伝播を考えることによりこのような考えが妥当であることを示すことができる。このようなガスの熱輻射は近赤外ではあまり能率がよくないが、もっと長波長ではさらに能率がよくなる。

例えば $30 \mu\text{m}$ 附近には H_2O の純回転遷移による強い輻射が予想される。実際最近行なわれた観測ではM型超巨星等は $30 \mu\text{m}$ に異常に強い輻射を示す。もっともこれを観測したハワイ大学の赤外屋さんは、これは $30 \mu\text{m}$ に固有振動を持つ固体粒子の熱輻射であろうと云っている。

さて以上のようにして飛行機による一見妙な観測は一応よく理解されるが、もしこのような解釈が正しいとすると、我々はやっとなかなか H_2O 分子を大部分のM型星からやっとなかなか払いにしたと思ったのに、やはり H_2O 分子とはなかなか縁が切れないことになる。しかしこのように星のまわりのガスの赤外スペクトルが観測されたと言うことは、これら星周空間の研究にとっては大いに有益なことである。今迄に赤外スペクトルには星周空間にある固体粒子のスペクトルのみが観測されていた。例えば、 $10 \mu\text{m}$ と $20 \mu\text{m}$ にはシリケート粒子になると思われる熱輻射が見られる。しかしこれら固体粒子の物理的・化学的性質はよく判っていない。おそらく地上の実験室で知られているものとはかなり異なるものようである。従ってこれらの固体粒子のスペクトルの解釈は一般に困難であり、これらの解析から星周空間に関する情報を得ることはなかなか難しい。一方 H_2O 等の簡単な分子の性質はよく判っている。従ってこれらのスペクトルが観測されれば、星のまわりのガスの流れについての物理的・化学的性質を明らかにする上で非常に有益であろう。このようにして H_2O 分子は我々をいろいろ悩ませたが、同時に天体診断の有用な道具としてたいへん役に立つことが期待されるのである。