

東邦大学審査学位論文（博士）の要旨

論文題目

星間空間における生体関連分子前駆体調査のための分光学的研究
(Spectroscopic study for detection of pre-biotic molecules in interstellar space)

論文要旨

星間空間には希薄なガスが存在する。ガス内では様々な化学反応が起こるために多様な星間分子が存在している。その中には有機分子も数多く存在しており、1970年代からアミノ酸や糖類、核酸塩基など生体関連分子の星間空間探査が行われてきた。しかしこれまでのところ、最も単純な糖類であるグリコールアルデヒドを除き、生体関連分子は未検出である。そのため、生体関連分子そのものを観測するだけでなく、生体関連分子の前駆体となる分子についての調査も行われはじめている。

現在、ALMA, Herschel/HIFI といった新世代の電波望遠鏡のデータが利用可能になっている。ALMA はミリ波からテラヘルツ領域まで、Herschel/HIFI はテラヘルツ領域から遠赤外領域までと観測可能な周波数域が広い。さらに、以前の望遠鏡に比べ高い感度および空間分解能を持つため、星間空間中にある生体関連分子の微弱なスペクトルの検出が可能になると考えられている。しかし、目的の分子以外のスペクトルも当然検出してしまうため、その同定は極めて困難になることが予想される。分子の同定は、観測天体の視線速度の決定精度を考えると、実験室分光で対象分子のスペクトルが 100 kHz 以下の精度で決定していることが望ましい。

本研究では、アミノ酸の中で最も単純な構造を持つグリシンの星間空間内での生成過程を調査し、その生成過程のひとつであるストレッカー反応に着目した。この反応は、星間空間に比較的豊富に存在する NH_3 , H_2CO , HCN , H_2O を基にするものであり、実験室内でアミノ酸を生成する時にしばしば用いられる方法でもある。そのため、星間空間内で起こるグリシン生成反応経路の中で有力な候補とされている。ストレッカー反応におけるグリシン前駆体分子は、アミノアセトニトリル ($\text{NH}_2\text{CH}_2\text{CN}$) とメタンイミン (CH_2NH) である。しかし、これまでの分光学的研究を基にした分子定数では ALMA, Herschel/HIFI の観測周波数領域内に出現するスペクトルを精確に予想できていなかった。本研究では、アミノアセトニトリルとメタンイミン、およびその同位体の純回転スペクトルの測定を行い、上記の望遠鏡の観測領域内で十分な精度を持つ分子定数の決定を目的とした。

アミノアセトニトリルの先行研究には、一部の b-type 遷移スペクトルに帰属ミスがあることを明らかにした。本研究では、この誤りを正すと共に、1200 GHz まで測定を拡張し、分子定数を 8 次の遠心力歪定数まで新たに決定した。メタンイミンは、今までミリ波帯である 100 GHz 付近で観測が行われていたが、星間空間中の天体の典型温度である 100 K 程度の温度では、テラヘルツ領域に最大の感度があることが分かった。そのため、1600 GHz まで測定を拡張し、分子定数を 8 次の遠心力歪定数まで新たに決定した。同位体種に関してはそれぞれアミノアセトニトリル同位体 (NHDCH_2CN ; $\text{ND}_2\text{CH}_2\text{CN}$) とメタンイミン同位体 ($^{13}\text{CH}_2\text{NH}$; $\text{CH}_2^{15}\text{NH}$; CH_2ND) を 600 GHz, 1600 GHz まで拡張して測定した。これら同位体種の先行研究では、ミリ波帯において、回転遷移で数本のラインしか測定されておらずほとんどの分子が回転定数のみしか決定していなかったが、今回測定周波数域を拡張することで 6 次の遠心力歪定数まで新たに決定した。

本研究で新たに決定した分子定数は、ALMA, Herschel/HIFI の観測バンド内の遷移を数十 kHz 以内で予想することができる。ストレッカー反応に関係する全分子の分光データが整ったので、今後星間空間内でこの反応によるグリシン生成の可能性を、観測により迫ることができるようになった。

論文審査の要旨及び審査結果の要旨

2011年入学	研究分野 環境科学	氏名 元木勇太
審査委員	(主査) 東邦大学・理学部 教授 (副査) 同 教授 (副査) 同 教授 (副査) 同 准教授 (副査) 静岡大学・理学部 教授	尾関博之 大島 茂 山口 勉 上原 真一 岡林 利明
(論文題目) 星間空間における生体関連分子前駆体調査のための分光学的研究		
(論文審査の要旨及び審査結果の要旨) <p>希薄な星間空間に存在する物質が集合し、次世代の恒星が誕生するまでの星形成活動は極低温かつ高真空の環境下で進行するため、我々の持つ知見は今のところ非常に限定的である。宇宙空間における物質輪廻を考える上でのミッシングリンクともいべきこの過程を解明するための一手段として、星間空間に存在する「分子」の存在量やその分布に着目する星間化学という学問分野が確立している。希薄で低温という物理環境にある分子が放出する電磁波—すなわち電波を利用した物質の同定により、星間空間においてどのような化学種が存在するかを明らかにし、そしてそれらの化学種が存在するために必要な物理的諸条件を探っていくことを通して恒星が誕生して惑星系を構成して行く過程を追跡するのである。星間空間にある分子、すなわち星間分子は単純な二原子分子から十原子以上からなる複雑な分子まで百七十種類を超える分子がこれまでに検出されている。星形成活動に特有の分子なども見出されており、星間分子のバリエーションを探る研究は星間化学の中の主要な位置を占めているといってもよい。なかでも星間分子の中にはアルコールやアルデヒドをはじめとする「有機分子」がいくつか見つかっているため、星形成から生命誕生に至るまでの過程に着目した星間分子、すなわち生体関連分子の探索も地道に行われてきた。</p> <p>本論文は 1970 年代から続いている星間空間における生体関連分子の探査に向けての新しい基礎的データをもたらすものである。宇宙空間における生体関連分子の探査は、我々生命がどのように誕生したかを議論するうえで重要である。これまでも数多くの天文学的探索がなされてきたが、星間空間においてアミノ酸・糖類・核酸塩基などの直接検出はほとんど成功していない。そこで最近では生体関連分子そのものだけでなく、その前駆体の検出を目指した観測も行われるようになってきている。特に近年、電波から遠赤外線領域において、既存の望遠鏡施設よりもはるかに高感度を実現する新世代の望遠鏡である ALMA (Atacama Large Millimeter/Submillimeter-wave Array) や Herschel/HIFI</p>		

宇宙望遠鏡が稼働を始めたことから、生体関連物質及びその前駆体の検出に向けての新たな気運が高まっている。こうした観測天文学分野からの要求に耐えうる分光学的データが望まれるようになってきている。

本研究は、東邦大学に設置された高精度テラヘルツ分光計を用いて、アミノアセトニトリル (AAN) とメタンイミン (MI) の主同位体種および重水素、 ^{13}C 、および ^{15}N 同位体置換種についてテラヘルツ領域のスペクトル測定を初めて行ったものである。AAN と MI は、もっとも単純なアミノ酸であるグリシンの生成反応のひとつであるストレッカー反応において、グリシンの直接的な前駆体であり、星間空間における探査において優先度の高い分子種であるといえる。本研究では、マイクロ波・ミリ波帯における先行研究に対し、百数十本測定されたスペクトル線データを精査し、そのうちの四本に帰属ミスがあることを見出した。そのために遠心力歪定数の大幅な改定が必要であり、従来用いられてきた周波数予想データのうち、特に b 型遷移と呼ばれるスペクトル線の遷移周波数予想の信頼度が著しく低く、従来のデータを基にしたスペクトル探査が全く意味をなさないことを初めて指摘した。この傾向は ALMA や Herschel 宇宙望遠鏡による観測の主力周波数帯であるテラヘルツに至る高周波数領域で特に顕著であることが分かった。つまり本研究は ALMA や Herschel 宇宙望遠鏡を用いた AAN や MI の観測要求に耐えうる初めての分光学的データを提供するものであり、分光学的・天文学的にも評価できるものである。

また、本論文は単に AAN・MI 両分子種の分光学的データを提供するだけにとどまっていない。星間空間におけるグリシン生成過程にはストレッカー反応以外の候補もあるが、申請者は百報近い文献を緻密に調査し、現在考えられているほとんどすべての生成過程候補のダイアグラムを作成した。これは同分野の研究者にとって貴重なレビューとなるであろう。

これら学位論文の成果は、査読付き論文二報にまとめられ、米国および欧州天文学会誌に投稿済み（一報は発表済み、もう一報は査読後の改定稿提出中）である。また国際学会・研究会に三件、国内学会・研究集会において五件の学会発表を行っている。

以上をふまえ、審査員一同は、論文提出者、元木勇太に対して博士（理学）の学位を授与するにふさわしい学識と能力があると認めた。