

報告番号

※ 甲 第 号

主 論 文 の 要 旨

論文題目 Observational Study on the Origin of Stratospheric CO of Neptune (海王星成層圏における一酸化炭素分子の起源に関する観測的研究)

氏 名 飯野孝浩

論 文 内 容 の 要 旨

太陽系内惑星の大気組成は、その形成時の環境や、今日に至るまでの進化の歴史を反映している。大気組成やその起源を明らかにすることは、惑星個々の進化史のみならず太陽系の形成を理解する上でも重要な意味を持つ。国内外の探査機により、特に火星、金星といった近傍の惑星の大気に関する知見は日進月歩の勢いで深まっている一方で、木星以遠のガス惑星の大気組成やその起源については、未だ十分には理解されていない。しかし、こうした遠方のガス惑星に関しては、電波望遠鏡および赤外線望遠鏡を用いた分光観測により、大気分子組成と鉛直分布、大気構造に関する知見が整いつつある。

海王星成層圏の大気組成は、他のガス惑星に比して 30-1000 倍ほども豊富な一酸化炭素(CO)分子の存在によって特徴づけられ、さらに成層圏上部の CO 混合比が成層圏下部～対流圏に比べて 2-4 倍程度高いことが近年明らかになってきた。高高度ほど高い CO 混合比は、成層圏上部の CO 分子が何らかの外部供給源を持つことを示唆している。1994 年に発生した木星への彗星衝突事象では、彗星核の主成分である H₂O 氷に由来する CO 分子が衝突後大量に木星上部成層圏に供給されたことが観測されている。同様に海王星においても、過去に発生した大規模な彗星衝突が成層圏上部に CO 分子を供給したというシナリオがこれまでに提唱されてきた。また、木星の彗星衝突では CO 以外にも硫黄及び窒素の化合物が供給され、CO 同様に成層圏上部への偏在が観測されている。海王星成層圏においても過去の彗星衝突が CO 分子を供給したのだとすれば、CO と同様の鉛直分布を持つ他の微量分子が存在する可能性がある。申請者はこの点に着目し、海王星に対する硫化物の探査を発

想した。

ミリ波からサブミリ波帯には、多くの硫化物の線スペクトルが存在する。申請者は、国立天文台 ASTE 望遠鏡を用い、2010年に木星成層圏での主要な硫化物分子である CS 分子の探索観測を、2013年にはさらに H₂S、H₂CS、C₃S、OCS、SO、SO₂分子の探索を行ない、S₂および CS₂分子を除く、ガス惑星大気内で存在する可能性のある硫化物を系統的に探索した。しかし探索したすべての分子に対し、検出限界を越える輝線は検出されなかった。一方、これらと併せて、過去の観測で検出されている CO および HCN の観測を行い、両分子輝線の取得には成功した。

不検出であった硫化物分子に対しては、各分子の存在量の上限値の導出を行うため、各々の分子の混合比と温度の鉛直分布を与え、観測時に期待されるモデルスペクトルを生成する輻射輸送コードの開発を行った。取得した CO および HCN 分子のスペクトルを用いてコードの検証を行ったところ、得られた両分子の混合比はともに先行研究と誤差の範囲でおおむね一致することを確認した。硫化物分子の混合比上限としては、取得したスペクトルの測定誤差を有意 (3σ) に超える強度のモデルスペクトルを生成する混合比を採用した。結果、探索した硫化物分子の混合比上限は 0.06 - 6.7 ppb と得られ、CO との比で 0.3%以下に制約された。太陽系内の小天体の典型的な硫黄元素の存在量は対酸素比で 2%程度であり、海王星成層圏中の硫化物分子存在比は一桁程度低くなっていることが明らかになった。特に、木星成層圏で彗星衝突以降 20 年近くの長期にわたって検出されている CS 分子および、その前駆体と考えられる H₂CS 分子の混合比は、海王星においては対 CO 比で 0.01%以下であり、他の分子に比してさらに低いことは新たな知見である。

海王星大気は成層圏上部に CO 分子が卓越する点で彗星衝突後の木星と類似する反面、硫化物は気相において大きく欠乏しているという点で木星の事例とは大きく異なることが本観測により初めて示された。海王星における S/O 比の上限を与え、海王星大気の起源に対して新たな制約を与えた。申請者は本観測の結果より、海王星成層圏における高い CO 分子混合比の起源として、以下のような 2つの仮説を得るに至った。(1)海王星においても木星と同様に彗星の衝突により CS が形成されたが、木星のように長期間成層圏に貯蔵されなかった。海王星における CS の気相からの除去プロセスとしては、下方拡散により運ばれた CS が対流圏界面において凝結し除去された可能性が考えられる。(2)海王星における CO の増加は彗星の衝突による外部からの供給ではなく、海王星の下層大気からの局所的な上昇気流に伴う輸送が原因である。この場合、CS 等の硫化物は上昇の途中で凝結し気相から除去され、成層圏まで輸送されなかったと考えられる。これらの可能性をさらに明らかにするためには、今後、ALMA による高分解能観測により CO の 3 次元的な分布を明らかにし、海王星内の大気循環と絡めて海王星における豊富な CO の起源について考察する必要があることを示した。