

[C II]線が明らかにしつつある 新たな星間ガス相

[C II] 158 μm 放射線の銀河面サーベイが、専用の気球観測装置 BICE によって行われ、銀河面の [C II] 線放射強度マップがほぼ完成した。この [C II] 放射のかなりの部分は、星生成領域などの個別天体からのものではなく、空間的に広がった星間ガスが放射源である。H₂1 cm 線によってトレースされる中性水素ガスや、CO 2.6 mm 線による分子ガスとは異なった、銀河面の新たな星間ガス相の性質が明らかされつつある。

1. 星間炭素イオンの存在

炭素原子は水素・ヘリウムについて、酸素と同程度に宇宙に多く存在する元素である。そしてその電離に必要なエネルギーが 11.3 電子ボルトと水素のそれ (13.6 電子ボルト) より低いため、星間空間のほとんどの領域においては、紫外線放射場によって気相の炭素は炭素イオンになっているという予想があった。

この炭素イオンは、電子基底状態が 2 つに分離しており、その間の遷移が遠赤外線に対応する ([C II] 157.7409 μm , 遷移 $^2P_{3/2} \rightarrow ^2P_{1/2}$)。一方、IUE (国際紫外線天文衛星) による太陽近傍星間空間の紫外吸収線の測定結果からは、この 2 つの準位の存在比が決定された。その結果、この遠赤外 [C II] 線の放射は星間ガスの冷却に支配的な効果を持つほど強いはずであることが明らかになった¹⁾。

2. 拡散 [C II] 線はあるか

そこで [C II] 158 μm 線放射の拡散成分を直接捕らえようとする試みが、コーネル大学のグループによって始められた。この波長の遠赤外線は地

球大気に完全に吸収されるので、彼らは Lear Jet という小型のジェット機に 30 cm の望遠鏡と液体ヘリウムで冷却した分光器を取り付け、観測を行った。第一報²⁾は [C II] 線が銀経 8 度付近で紫外吸収線観測からの予測よりさらに 20 倍も強いという驚くべきものであったが、その後の観測結果と大きく矛盾するので、観測の誤りであろう。第二報³⁾は銀河面のごく一部分を観測して、第一報の 10 分の 1 以下ではあるがそれでもかなり強い放射成分が検出された。しかし、S/N が悪く第一報と大きく食い違っていたこともあって、結果には疑いが持たれていた。

3. 拡散 [C II] 線検出!

われわれ宇宙研の赤外線グループは京大の赤外線グループと共同で 50 cm の本格的な気球望遠鏡 BIRT を開発し、1988 年にはファブリペロー分光器を搭載して [C II] 線の気球観測を行った。主な観測対象は M 17 や NGC 6334、銀河中心領域という個別天体であったが、我々は遠赤外波長域で初めて「周波数スイッチング」の手法を実用化して、拡散放射成分に関してきわめて優れた検出能力を達成していた。そこで、観測時間の一部を割いて拡散 [C II] 158 μm 線放射の観測を行ったところ、強い拡散放射成分が銀河面の至るところで検出された⁴⁾。

一方、米国の宇宙背景放射観測衛星 COBE が、この遠赤外 [C II] スペクトル線で全天をサーベイ観測した⁵⁾。しかし、その 7 度という大きいビームのために銀河面の [C II] 放射さえ空間的に分解することができなかった。

4. BICE 銀河面 [C II] マップ

そこでわれわれは、新たに遠赤外 [C II] スペクトル線による広域観測専用のシステムを開発した。これが BICE (Balloon-borne Infrared Carbon Explorer) である。

BICE では、主望遠鏡光学系にオフセット・オー

パーサイズ光学系を採用することにより、背景放射光を極めて低く抑え、今までにない高感度観測を達成することが出来た⁶⁾。

表紙写真が、BICEにより観測された銀河面からの[C II]放射強度分布である。銀河面に沿って、大変に強い[C II]放射が検出されている。なお今年の観測では、南天の銀河面、銀経260度から350度までの[C II]マップも得られている。

[C II]線源の内、点源については、ほとんどが遠赤外連続波のピークと一致しており、天体としては既知の物である。しかし強度比は天体ごとによりかなり異なる。一般には、遠赤外連続波の弱い天体ほど、むしろ相対的には[C II]線は強くなっている。これは、星間ガスの主たる加熱機構である光電子加熱効果が、星からの紫外線強度が強すぎると、かえって効率が落ちてしまうという理論的予想を実証するものであろう。

一方、空間的に広がった強い[C II]放射も銀河面の主放射成分であること確認された。この成分は1988年のBIRTによる観測でも検出されていたが、BICEの観測よりその存在が確固たるものになった。

5. 拡散[C II]放射の起源

この空間的に広がった[C II]線の起源は、何であろうか。

[C II]線を効率よく放射するためには、1)炭素を電離してイオンをつくるための紫外線、2)衝突励起に必要な密度(中性なら $\sim 1000 \text{ cm}^{-3}$)と3)温度($\geq 100 \text{ K}$)の3要素が必要である。一般の分子雲や中性原子(HI)雲では、この3要素がそろわず、観測された[C II]線強度を説明することは全く出来ない。

これらに代わって、[C II]線強度を説明する可能性のあるのは、一つは「光解離領域」とよばれる星間雲である。分子雲の表面に紫外線が当たると、分子が光解離をおこす。ここで、たとえ水素が中性であったとしても、炭素のイオン化エネ

ギーが低い場合、炭素イオンは形成され得る。したがって、もし充分な量の紫外線があれば、温度が上昇して(\sim 数100 K)、上記の3要素をみたす領域がつけられ得る。

もう一つの可能性は、ELD (Extended Low Density) H II領域とよばれる、電離水素領域である。電離領域であれば、炭素イオンの衝突励起の相手が電子であるため、効率が非常によく、わずかな密度($\sim 10 \text{ cm}^{-3}$)でも[C II]を放射することができる。また、紫外線には不自由しないし、温度($\sim 10000 \text{ K}$)も十分に高い。

このどちらが[C II]放射により効いているかは、まだ決着がつかないが、どちらにしてもこれまでほとんど研究されてこなかった星間ガス相であるだけに、広域[C II]観測の成功はきわめて重要な意味を持つことになる。

6. 今後の展開

[C II]放射線が星間ガスのプローブとして重要である理由の一つは、放射強度が大きい(CO 2.6 mmの数千倍)のために、観測効率がきわめてよいことである。広域[C II]観測は、まだ始まったばかりであり、今後の気球観測に期待がもたれる。さらに、1995年打ち上げ予定の日本初の軌道赤外線望遠鏡IRTSには、FILM (Far-Infrared Line Mapper) と呼ばれる高感度の分光器が搭載されており、さらに精密な観測がなされると期待されている。

芝井 広・中川貴雄 (宇宙研)

参考文献

- 1) Pottasch, S. R., Wesselius, P. R., and van Duinen, R. J. 1979 *Astron. & Astrophys.*, **74**, L15.
- 2) Stacey, G. J. et al. 1983 *Astrophys. J. (Letters)*, **268**, L99.
- 3) Stacey, G. J. et al. 1985 *Astrophys. J.*, **289**, 803.
- 4) Shibai, H. et al. 1991 *Astrophys. J.*, **374**, 522.
芝井 広, 天文月報 91年12月号, Astro Express
- 5) Wright, E. L. et al. 1991 *Astrophys. J.* **381**, 200.
- 6) 中川貴雄, 天文月報 91年11月号, 天文観測技術の最前線.