

気球搭載望遠鏡と遠赤外分光観測

芝 井 広*

プロローグ

1979 年 8 月末の屋下がり、穏やかな夏の三陸の海を見おろす司令室でぼんやりと時間をつぶしていた私たち京都大学の気球赤外線グループに、ちょっとした朗報が飛び込んだ。宇宙研の気球観測の責任者で、三陸大気球観測所の所長でもある西村純教授（現宇宙研所長）がやってきて、「君たちのグループが提案している本格的な気球望遠鏡を開発する計画を、宇宙研の気球グループが来年度から本格的にサポートできるかもしれない」と言ってくれたのである。一年かけて準備した二日前の気球観測に失敗し、おまけに海に落ちた高価な虎の子の観測機器が二日たっても発見されないのが、気分的にすっかり落ち込んでいた私たちにとって、将来の希望を与えてくれる言葉であった。少ない予算をやりくりしながら、何とか世界に追いつこうとしていたこのグループが、（もし認められれば）一桁以上大きい予算規模で、世界のトップクラスと肩を並べるような本格的な気球赤外線望遠鏡を、自分たちで持てるかもしれない。そして未開拓の波長域であった遠赤外天体観測の分野で大きい貢献ができれば……。当時修士 2 年だった私の体に走った一瞬の緊張感は、一回りスケールの大きい仕事に直面しての「武者震い」だったかもしれない。

まもなくこの計画は正式に認められ、翌 1980 年度からスタートすることになった。

なぜ気球観測か

わざわざ気球で上空まで観測器械を持ち上げて赤外線を観測するには、次のような理由がある。

赤外線と総称される波長域は $1 \mu\text{m}$ から $1000 \mu\text{m}$ (1mm) であるが、この中でも波長 $30 \mu\text{m}$ から $300 \mu\text{m}$ までの遠赤外領域は、地球大気の吸収のために地上望遠鏡からの観測が、まったく不可能である。したがって、何らかの手段を使って天体観測装置を上空に持ち上げなければならない。このあたりは、紫外線や X 線と共通する事情である。

（余談であるが、近ごろ巷ではどういふ風の吹きまわしか「遠赤外線」がブームで多くの「遠赤外線商品」が氾濫しているが、おそらくこれらの商品の「遠赤外線」は数ミクロンから 10 ミクロン程度の波長、すなわち天

文学では「中間赤外線」と呼んでいる波長範囲に相当すると思われる。もし天文学と同じ波長の「遠赤外線」ならば空気に吸収されてしまうため商品にならないからである。）

そんなわけで、これまでジェット機（高度 12km 程度）、気球（高度 $25\text{--}40 \text{km}$ ）、ロケット（高度 $200\text{--}400 \text{km}$ ）、人工衛星（高度 250km 以上）等、「飛翔体」を用いた観測が世界のいくつかのグループで試みられてきた。

広帯域の測光観測では、米蘭英 3 国が共同で打ち上げた史上初の赤外線天文衛星 IRAS (1983 年) の大成功を特筆するべきだろう。この衛星は液体ヘリウムで絶対 0 度近くまで冷却された口径 60cm の望遠鏡を搭載して、波長 $8 \mu\text{m}$ から $120 \mu\text{m}$ の赤外線を 4 バンドに分けて全天サーベイをした。この結果、20 万個にのぼる赤外線点源のカタログと全天の赤外線強度分布図などを作った。

この IRAS の成果は天文学全体にとって画期的なものであったが、これをふまえて次にやるべき最も重要なことはスペクトル線の分光観測だろう。測光観測で捉えられるのは主に星間塵の熱放射赤外線であるが、一般的に言って星間ガス中の原子や分子、イオン、ラジカル等が放射・吸収するスペクトル線の方が、星間物質に関して格段に多くの情報を含んでいるはずである。本格的な分光器を搭載した軌道赤外線望遠鏡計画 (IRTS, ISO, SIRTf など) はまだ準備段階であり、その実現は早くても数年先である。ロケットは十分な高度まであがることができるが、観測時間が短すぎて分光観測に適さない。したがってジェット機もしくは気球を利用するのが、遠赤外分光観測ができる最善の方法である。

私たちが気球搭載赤外線望遠鏡 (BIRT) の計画をスタートさせたころ、すでに NASA のジェット機望遠鏡 (KAO, 口径 91cm) の運用が軌道に乗りはじめ画期的な成果をあげ始めていた。しかしながらジェット機で到達できる 12km 程度の高度では、残留地球大気（特に水蒸気）の影響が強く残っている。特に遠赤外波長域で強くても重要な意味を持つスペクトル線、[OI] ($63 \mu\text{m}$) や [CII] ($158 \mu\text{m}$) は、すぐ近くの波長に地球大気の強いスペクトル線があり、ジェット機高度からの観測ではその影響を強く受けていると思われる。

一方気球高度では残留地球大気の影響はジェット機高度の 10 分の 1 から 100 分の 1 に減少するため、観測精

* 宇宙研 Hiroshi Shibai: Far-Infrared Spectroscopy by Balloon-Borne Telescope

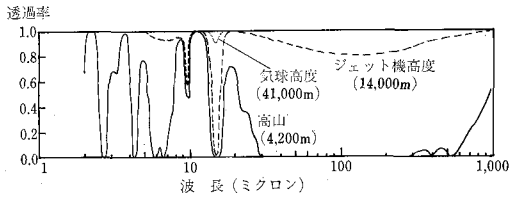


図 1 各々の高度における地球大気の透過度。波長 30~300 μm の遠赤外線にたいしては、地球大気中の水蒸気が吸収するために非常に不透明である。代表的な地上観測のサイトであるハワイ島マウナケア山頂 (4200 m) からこの波長帯の観測はまったく不可能である。ジェット機によって成層圏まで上がれば (12~14 km) 大気中の水蒸気量が急速に減少するため、一応観測可能になるが観測条件は良くない。それに対して気球を用いると約 40 km の高度まで上がることができ、水蒸気の影響は 100 分の 1 に減少する。

度の向上が期待できる。おまけに私たちのグループが世界に先駆けて実用化した周波数スイッチング (Frequency Switching) の手法は、地球大気の放射が強ければ実現不能と考えられるため、気球高度まで上がることで始めてその利点を活かすことができる。

なぜ遠赤外スペクトルか

ところで私たちがなぜ遠赤外分光観測、特に後で述べる [CII] 158 μm や [OI] 63 μm にこだわったかを一言でいうと、「天文学的に非常に重要であると予想されていたのに、観測技術の未発達のために十分な観測ができていなかった」ためである。なぜ「非常に重要」であると考えられていたかという理由は 3 つある。

- 1) [CII] 158 μm , [OI] 63 μm は励起エネルギーが温度に換算してそれぞれ 91K, 228K, 水素原子に対するクリティカル密度 (自発放射確率と衝突励起確率が等しくなるような密度) が $\sim 10^8$ 個/cc, $\sim 10^5$ 個/cc である。したがって中密度 ($10^8 \sim 10^5$ 個/cc), 中温度 (30~300 K) の星間ガスの良いプローブになると思われる。また中性炭素原子の電離に必要なエネルギーは 11.3 eV であるが、これは水素原子の 13.6 eV より低い。13.6 eV より高いエネルギーの光子は水素原子にほとんど吸収されてしまい、HII 領域の外には出てこれない。そのため [CII] が 11.3~13.6 eV の紫外線の良いプローブになる。
- 2) とともに非常に強いスペクトル線である (図 2)。特に比較的暖かい星間ガスでは支配的冷却源であり、星間ガスの物理状態の研究に線強度の観測は欠かせない。
- 3) C^+ イオンは、暗黒星雲中での炭素鎖分子の成長にとって不可欠の材料であると考えられている。したがって星間化学の研究にとって C^+ イオンの直接観測が重要

な意味を持つ。

私たちの [CII], [OI] の観測計画に対して、次のような批判をする人もいた。「そんなことをしても今まで他の方法、波長領域で観測され、研究されたことを追認するだけで、何も新しいことは出てこないだろう。」はたして本当にそうだろうか。例えば人間の肉眼で見える波長域は 0.38 μm から 0.77 μm のたった 2 倍の範囲に過ぎない。1950 年頃までの天文学はこの波長範囲に限られていたとって良い。それなのに宇宙はわれわれに様々な姿を見せてくれてきたのである。その後、紫外線、X線、ガンマ線、近赤外線、電波と、新しい波長域で宇宙を見ることができるようになると必ず新しい現象が見つかり、「宇宙」に対する理解が一段と深まってきた。今私たちは遠赤外線という新しい未開拓の波長域を観測しようとしている。波長範囲は可視光よりはるかに広い。しかも上に述べたような重要性がある。例えば図 2 に示すようにオリオン-KL のような星生成領域では連続スペクトル、線スペクトルとも遠赤外域が最も強い。きっと今まで気づけなかったことが出てくるに違いない。宇宙は人間の知恵では測り知れないほどの多様性を持っているからである。

気球観測装置の製作

望遠鏡は口径 50 センチの反射型と決まった。古典的なカセグレン光学系に三次鏡を付加して、ナスミス焦点に赤外線分光器を置けるようにした。駆動方式は、経緯台式とした。合衆国や西ドイツのグループでは口径 1 m

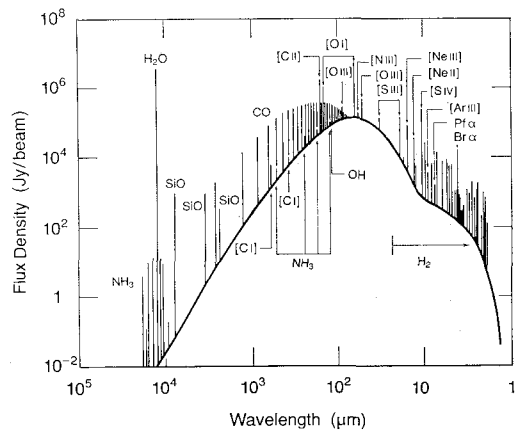


図 2 最も有名な星生成領域である「オリオン-KL」領域からの放射スペクトル。連続波、線スペクトルとも遠赤外波長域がピークであることがわかる。また [OI] 63 μm , [CII] 158 μm はこの領域から放射される最も強いスペクトル線である。(D.M. Watson, "Galactic and Extragalactic Infrared Spectroscopy", p. 195, ed. by M. F. Kessler and J. P. Phillips)

ートルクラスのものを作っている。「大きいこと」は良いことにちがいないが、それがすべてではない。多少口径が小さくても、姿勢制御精度などの「総合的性能」の方が分光観測にとっては重要である。

気球望遠鏡が地上の望遠鏡と最も違う点は、姿勢の基準となり、かつ駆動の足場となる「大地」がないことである。頼りになるのは、気球からの吊り紐だけで、人工衛星の場合とほとんど同じ考え方で、姿勢制御しなければならない。姿勢は地磁気の方角を参照しながら、観測目標の近傍にある星を、スタートラッカーで捉えることで決めることにした。望遠鏡の駆動は、人工衛星で使われるリアクション・ホイールより格段に大きいトルクが出せる CMG (コントロール・モーメント・ジャイロ) を使うことにした。これは機械技研の矢島さん (現在宇宙研助教授) が気球用に開発していたものである。望遠鏡の鏡は彗星の発見で有名な池谷さんに研磨して貰い、望遠鏡の構造は三鷹光器に設計・製作を依頼した。

しかしその他のほとんどの部分は、予算が少ないこともあって「手作り」に近いものであった。背景赤外線キャンセルするための副鏡振動装置、姿勢決定・制御用のスタートラッカーとモニターカメラ、制御用のサーボ回路類、オフセットガイドの計算やデータ処理をするための3台のコンピューター、そして、肝心の赤外線分光器などなど。自分たちで設計し、部品を調達し、機械工作物は図面を書いて町工場に加工してもらい、組立て、試験した。

各部分が一通り出来上がると全体を組み上げて性能の試験をすることになったが、1981年末、計画の責任者であった奥田助教授 (現在宇宙研助教授) が宇宙研に移ったので、宇宙研の駒場キャンパスで全体の組上げと性能試験をすることになった。しかし新しいものを開発する場合には当り前のことであるが、性能試験に必要な試験設備についても、いくつか自分たちで作らなければならなかった。例えばスタートラッカーを使った姿勢制御試験に必要な疑似平行光を発生させるために、京都大学の上松赤外線望遠鏡の初代の鏡 (1 m) を借りて大口径のコリメーターをつくった。あるいは風の強い野外でもオフセットガイドの試験ができるようにするために、気球望遠鏡全体を載せてかつ精密に動くような回転台を作ったりした。また、専用の大きな実験室がなかったため、駒場キャンパスのなかで空いている大きな実験室を借りるために次々と3度も引越しをしたこともあった。

3台の搭載コンピューターを正しく働かせるのも相当苦勞した。ハードとソフト (機械語) を両方手作りのしたので、思い通り働かないときに、どちらをチェックすべきか検討がつかない。とにかく LSI のマニュアルを全部読みなおし、回路をチェックし、ちゃんとしたエミ

ュレーターがなかったので、EPROM に修正したプログラムを書き込んで動作をチェックすることの繰り返しで乗り切った。

望遠鏡だけでは赤外線観測はできない。ナスマス焦点に搭載する遠赤外分光器として、グレーティング分光器、ファブリ・ペロー分光器という、特徴のあるもの2種類を並行して開発を進めた。いずれも液体ヘリウムで光学系全体を冷却することによって感度の向上を図った。特に後者は、ファブリ・ペロー分光器としては世界で初めて光学系全体を2Kに冷却する方式で成功し、検出感度は世界のトップレベルの値を達成した。またこの感度の向上には、郵政省通総研との共同で開発した Ge:Ga 検出器も大きく貢献した。

結局のところ我々の気球観測システムの性能をまとめると、NASA のジェット機望遠鏡 (KAO) のシステムと比べて「空間分解能や波長分解能の点では若干劣ものの検出感度はほぼ等しく、周波数スイッチングが使えるために広がった放射成分にたいする検出効率は格段に高い」ものであるといえる。

いよいよ観測だ!

気球赤外線望遠鏡の本体がいよいよ完成に近づき、遠赤外分光器もメドがついてくると、観測計画が具体化してきた。岩手県の三陸海岸にある宇宙研の気球基地からフライトすると、一夜の観測終了後、陸地で回収することがむずかしく海に着水させるしかないが、その場合には海水によって器械がダメージを受けてしまう。できればアメリカかオーストラリアのような人工密度の少ない大陸で観測し、再使用可能な状態で回収したい。その願いがかなってようやく1985年にオーストラリアで気球観測ができることになった。記念すべき初フライトは2月21日、計画がスタートしてからほぼ5年後であった。

その年の3度のフライトと翌86年の3度のフライトではトラブルがいくつか起こり、期待したような成果は得られなかったが、88年のテキサス州パステインでの2度のフライトはいずれも大成功だった。気球の放球は5月24日、6月4日の2回で何れも順調なフライトであり、観測機器もうまく動作した。また観測終了後の回収時の状態も良好で、落下衝撃による機器の損傷は全くといってよいほどなかった。2回のフライトを合わせて約14時間の観測時間が得られ、M17 (オメガ星雲)、NGC 6334 のような典型的な星生成領域を始め、銀河系の中心部、銀河面数カ所、さらには系外銀河 NGC 253 等を観測し、広い範囲にわたって電離炭素のスペクトル線 [CII] 158 μm 線や、中性酸素原子の [OI] 63 μm 線を検出した。

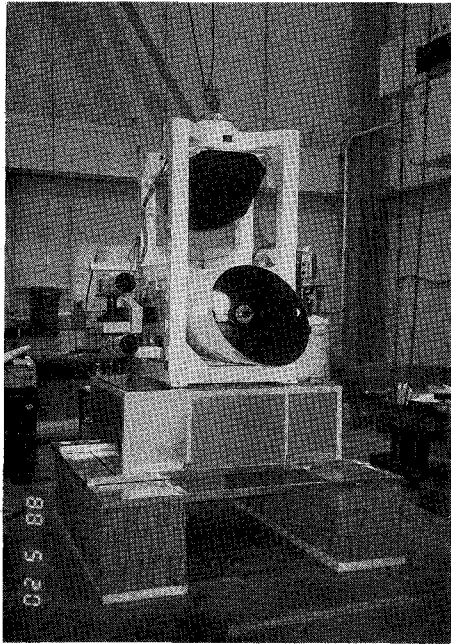


図 3 気球赤外望遠鏡 (RIRT)。口径 50 cm の反射望遠鏡を経緯儀方式で駆動する。上半分は望遠鏡部、下半分は制御システム部である。全体の高さは約 2.5 m、重量約 450 kg である。

観測結果

現在、昨年、の気球観測で得られたデータの解析を精力的に続けているところであるが、以下に述べるような非常に興味深い結果が、すでにいくつもみつまっている。観測したスペクトル線は上にも述べたように中性酸素原子の微細構造線 [OI] 63 μm と、 C^+ イオンの微細構造線 [CII] 158 μm である。後者については周波数スイッチングの手法で広い領域の強度分布を観測することも行った。その観測結果の一部を、簡単に紹介しよう。

銀河中心領域、M17、NGC 6334 については図 4、5、6 を見てもらうことにして、ここでは銀河面上に広く分布している [CII] 放射領域について述べる。銀河系内の星間物質の分布構造は、最初水素 21 cm 線によって中性水素原子の分布がわかり、次に一酸化炭素 2.6 mm 線によって中性水素分子の分布も知られるようになった。また水素電離領域 (HII 領域) の分布は電波の連続成分の観測によって明らかにされた。ところが星生成領域の比較的近傍 (光解離領域) にしかないと考えられていた C^+ イオンのスペクトル線が、今回の我々の観測によって、図 7 に示すように銀河面全体に広く分布していることが明らかになった。

この強度分布を IRAS の 60 μm 、100 μm のマップ (星間塵の遠赤外熱放射と考えるとよい) と比較してみると、星生成領域以外の拡散成分については良い相関があ

表 1 気球望遠鏡 (BIRT) および搭載分光器の性能

構造	全高	2500 mm
	重量	450 kg
光学系	方式	古典的カセグレン (3 次鏡を付加してナスミス焦点を使用)
	口径	500 mm
	焦点距離	3800 mm
	像質	0.25 分角以下 (波長 100 μm に対する回折限界は 0.9 分角)
	副鏡振動	8 Hz, 15 分角
	放射率	10% 以下 (推定)
姿勢制御系	制御方式	経緯儀式
	Az トルカー	CMG (コントロール・モーメント・ジャイロ)
	Az 粗センサー	地磁気センサー (GA)
	ガイド方式	オフセットガイド
	オフセット角	± 10 度角 (2 軸)
	精センサー	スタートラッカー (<4 等)
	星野モニターカメラ	視野 3.8 度角, 100 \times 100 ピクセル, 限界等級 4 等
	姿勢安定度	< 30 秒角 (p-p)
	指向精度	< 1 分角
	追尾精度	< 1 分角 (1 時間)
後オンボード回路	CPU	NSC 800 \times 3 台
	コマンド数	39 チャンネル
	アナログデータ数	48 チャンネル (12 ビット) 2 チャンネル (14 ビット) 2 チャンネル (16 ビット)
	データレート	8192 bps
電源	使用電池	リチウム電池
	電力 (ヒーター込)	平均 100 ワット, 30 時間
地上システム機能	PCM 復調器	データ復調, 分配
	GSS-1	望遠鏡制御
	GSS-2	分光器制御
	SFCM	星野カメラ用モニター
	AOS	アナログデータ出力
グレイティング分光器	波長	50~200 μm
	比波長分解能 $\lambda/\Delta\lambda$	200
	ビームサイズ	2 分角
ファブリ・ペロー分光器	波長	158 μm ([CII]) : 63 μm ([OI])
	比波長分解能 $\lambda/\Delta\lambda$	2000 : 2000
	検出限界 $W \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$	3×10^{-12} : 3×10^{-11} (10 秒積分, 3 σ)
	ビームサイズ	3.7 分角
モード		周波数スイッチングモード可能 (4 Hz)

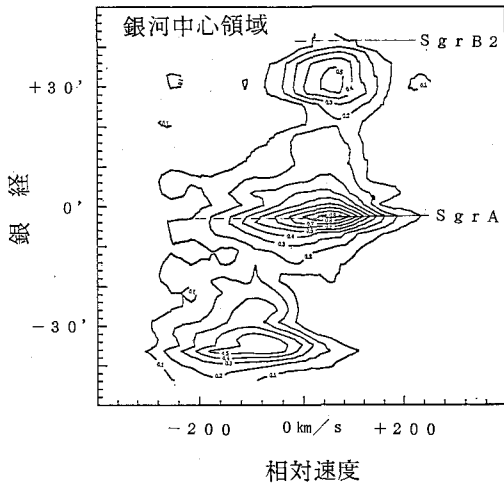
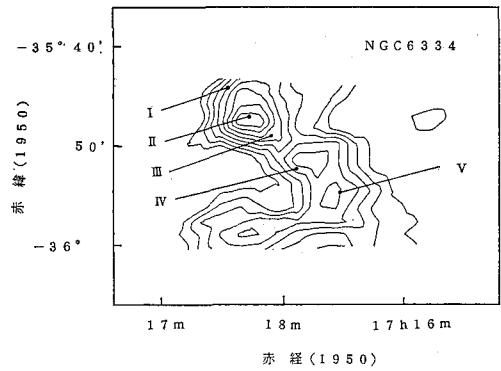
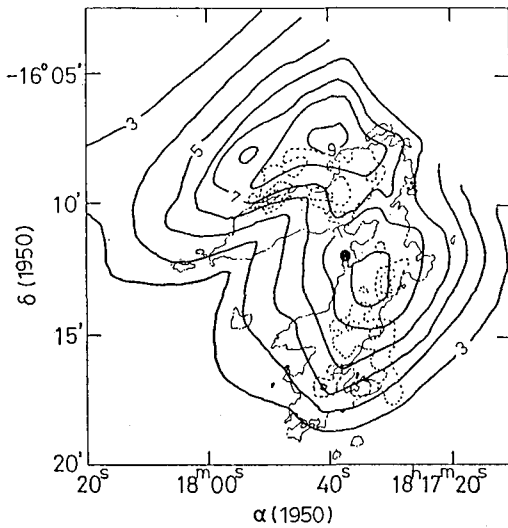


図4 銀河中心領域における [C II] 線の銀経-速度図。銀河中心付近と ±0.5 度付近に強いピーク (Sgr B1 と Sgr C に対応) がみられる。Sgr B2 のあたりで [C II] 強度が小さいのは若干奇妙である。

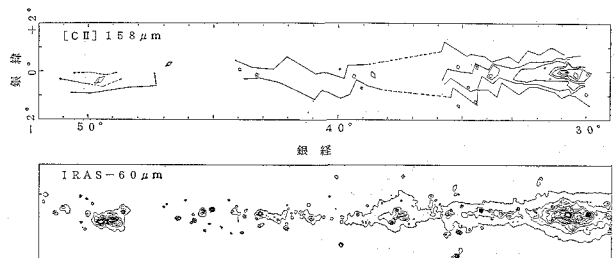


▲ 図6 さそり座の銀河面 (銀経 352 度) にある典型的な星生成領域 NGC 6334 の [C II] 強度分布図。I から V にはそれぞれ進化の異なる段階にある若い星が存在すると考えられている。なかでも V からは H II 領域のプロトタイプである電波の連続波が検出されないにもかかわらず、C⁺イオンの存在、すなわち 11.3~13.6 eV の光子の存在を示す [C II] 線は非常に強い。このことは、原子星が若すぎて放射する UV 光子の量がまだ十分でないため、C II 領域は形成するが、H II 領域を形成するには不十分である状態、すなわち原始星の非常に初期の段階である可能性を示唆する。あるいは C II 領域は作れても H II 領域を作れないような、高温でない B 型星 (B2 より晩期) が複数個存在するのかも知れない。



◀ 図5 オメガ星雲 (M17) の [C II] 放射強度分布図。北側 (上) の電離面においては下から電波連続波 (一点鎖線)、水素分子の振動-回転線 (点線)、[C II] 線 (実線)、CO (1-0) の順に層をなしており、H II 領域と分子雲の界面である「光解離領域」の構造が手に取るように浮かび上がってきた。南東側の電離面でピークが重なって見えるのは、北側よりもガスの密度が濃いからではないかと思われる。また M17 の周囲に拡がった [C II] 放射領域が存在することも発見された。この [C II] 放射は、これまでの「光解離領域モデル」が対象とするような高粒子密度、高放射密度のガスから出ているとするには余りに拡がりすぎている。

図7 (上) 今回の気球観測で得られた銀経 30 度 ~ 50 度の範囲における銀河面の [C II] 158 μm 強度図。銀経 30 度付近に約 2 度 × 1 度にわたる [C II] の強い領域があること、及び銀経の大きい方向に [C II] 放射が弱まりながらもずっと伸びている。しかも後者の成分の放射強度はかなり強いもので、星間ガスの放射エネルギーのかかなりの割合を担っていることになる。参考のために IRAS で観測された 60 μm の強度マップ (下) を示した。



るように見える。一方 CO (1-0) とはそれほど良い相関がみられない。実は星生成領域や系外銀河を大局に見たときには [CII] と CO は非常に良い相関があるとする観測結果があり、我々の結果と矛盾があるように思える。しかし系外銀河の観測ではビームサイズが大きいために分子雲や HII 領域、HI 雲などをすべて一緒にしてしまっているし、一方、星生成領域の観測では光解離領域の寄与が支配的であろう。最近の新しい「光解離理論」では [CII] は高粒子密度、高放射密度の光解離領域からだけでなく、中性の HI 雲からもかなりの強度で放射されると予想されるから、何もかも一緒にした観測は適切ではない可能性がある。

また IRAS が観測した星間塵が主としてどういうガスと共存しているのかについては、CO 分子雲説、(ELD) HII 領域説、HI 雲説などがありまだ決着がつかない。CO 分子雲は、銀経分布が IRAS 60, 100 μm と良く似ているものの銀河面に垂直な方向の分布の厚み (スケールハイト) が約半分の 60 pc 程度しかない (IRAS 60, 100 μm は 120 pc 程度) ので、除外されるかも知れない。HI 雲説はスケールハイトに関しては約 120 pc と一致するが、銀経分布が全然似ていない。広がった HII 領域 (ELD) についてはその強度分布などがまだ良く分かっていない。一方我々が明らかにした広がった [CII] 放射は、IRAS 60, 100 μm の強度分布と最も似ているように見える。したがって [CII] が決め手になって IRAS の拡散成分の起源も明らかになる可能性があり、詳しい解析を進めているところである。

我々の観測結果から広がった [CII] 線の放射エネルギーは星間塵の遠赤外放射 (総エネルギー放射量に近い) の 0.3% にも達していると思積られる。この値は系外銀河における値と大きく矛盾しない。また密度が 10^8 個/cc より薄いガスにおいては塵とガスは熱力学的平衡にはほど遠いと考えられるので、広く分布する星間物質の内の「ガス」の成分については [CII] 線が支配的冷却源であると考えられる。いずれにしても C^+ イオンが銀河面の広い範囲に存在し、[CII] 線が大きいエネルギーを放射していることは我々の観測から明らかである。

将来計画

この気球観測の成果を踏台にして、いま私たちのグループは新しいプロジェクトに進みつつある。一つは BIRT より小型の気球望遠鏡による、[CII] スペクトル線の銀河面マッピング計画である。これは銀河面の [CII] 158 μm スペクトルを速度分解しながら広範囲に観測する計画である。水素原子の 21 cm サーベイ、CO 分子線サーベイにつぐ、銀河構造のトレーサーになることを期待している。しかも [CII] 158 μm は HI (21 cm) や

CO (2.6 mm) に比べて自己吸収の程度が計算上、非常に小さいことになり、銀河系の円盤部の奥までその構造がはっきりと見えると予想される。もう一つの計画は小型宇宙プラットフォーム (SFU) に搭載する赤外線望遠鏡計画 (IRTS) で、1994 年に宇宙開発事業団 (NASDA) の H2 ロケットで打ち上げられ、日本では初めて、世界で 3 番目の衛星赤外線望遠鏡となる予定である。ここでは気球観測で発見した C^+ イオンのスペクトル観測が宇宙背景放射の観測とともに主要な目的の一つになっている。

エピローグ

気球観測のデータ解析に追われる合間にこの原稿を書いていると、これまでに起こった出来事が、そしてこの計画に参加してきた人たちの顔が次々に脳裏に浮かぶ。計画の責任者である奥田先生、京大の舞原先生、水谷君、宇宙研の中川君、松原君、成田さん。今は別の研究に携わっている人も多い。NEC にいる小田直樹さん、東大天文教育センターの小林行泰さん、郵政省通総研の広本君、国立天文台の高見君、上野君。「側面からのサポート」というより本気になって手伝ってくれた西村所長はじめ宇宙研の気球グループの人たち。私たちの希望をいつも心良く聞いてくれたオーストラリアのトーマス先生とそのグループ。心も体も太った腹のアリゾナのロー先生、西村徹郎さん……。

当初の予定より少々年月がかかってしまったけれど、みんなの力でいい装置が完成して、いい観測ができたことを祝って乾杯しましょう。さあ、みんなめいめいのグラスにワインを注いで、さあ早く、早く……

「乾杯！」

雑 報

オーロラを見ましたか？

3月8日から24日ごろまで地球磁気圏に大きな嵐が発生しました。この期間の大気発光現象の資料を収集しています。宮崎県の葦原樹生氏 (高崎星を見る会) はオーロラのような発行現象を観測されていますが、同じような観測情報をお持ちの方は下記までご連絡ください。

〒311-12 那珂湊市磯崎町 3601

郵政省通信総研平磯支所 富田二三彦

TEL: 0292-65-7121 FAX: 0292-65-7209

☆ ☆ ☆