

《ハイテクとおめがね事情(5)》

気球搭載赤外線望遠鏡 BICE

遠赤外[C II]スペクトル線(波長 157.7409 μm)は、中性の星間ガスの冷却を司る重要なスペクトル線である。気球搭載望遠鏡を用いて、この[C II]スペクトル線を、従来よりもはるかに広い範囲にわたって詳細観測する試みについて紹介する。

1. 遠赤外 [C II] スペクトル線

星間ガスの温度は、その加熱と冷却のバランスで決められる。この内、加熱には星の光が最も有効に働くが、冷却は事情が少し複雑である。

星間ガスは、ほとんど水素からできている。しかし、通常の中性ガスの物理状態では、水素原子/分子には有効なスペクトル線がなく、水素ガスは自分自身を冷却することができない。

水素にかわってガスの冷却に働くと考えられているのが、水素に比べればほんのわずかしかな存在しない重元素である。その中でも、最も重要であるのが、電離炭素 (C^+) の放射する遠赤外[C II]スペクトル線 ($^2P_{3/2} \rightarrow ^2P_{1/2}$, 波長 157.7409 μm) である。たとえば、ミリ波 CO ($J=1-0$) 輝線と比較すると、1000 倍以上のエネルギーを[C II]スペクトル線は放出すると考えられている。したがって、星間ガス雲の冷却・加熱のエネルギー収支を解明するには、この[C II]スペクトル線の観測を欠かすことができない。

しかしながら、地球大気がこの波長域で全く不透明であるために、地上からはその観測を行うことができず、飛翔体を用いた観測が必要となる。

2. [C II] サーベイ専用観測器 BICE

我々は、この[C II]スペクトル線を、広域にわたって観測することを目的として、BICE (Balloon-borne Infrared Carbon Explorer) (図 1) と呼ぶ気球搭載システムを開発した。

BICE 以前にも [C II] 観測を行っている観測器があった。KAO (Kuiper Airborne Observatory) と呼ばれる飛行機搭載望遠鏡である。

KAO は有力な観測器ではあるが、弱点もいくつか持っていた。まず、飛行機高度 (10 km) では、気球高度 (40 km) にくらべると、遠赤外域の観測条件はかなり劣り、高感度観測は困難である。さらに、KAO は細かい観測は得意だが、広い範囲の観測は不得手である (後述)。

そこで、BICE の開発に当たっては、KAO ではできない観測、すなわち「広い範囲」を「高感度」で観測することに焦点を絞った。そして、その目的の実現のために、いくつかの新機軸を取り入れた。

気球による遠赤外線観測の場合、検出限界を

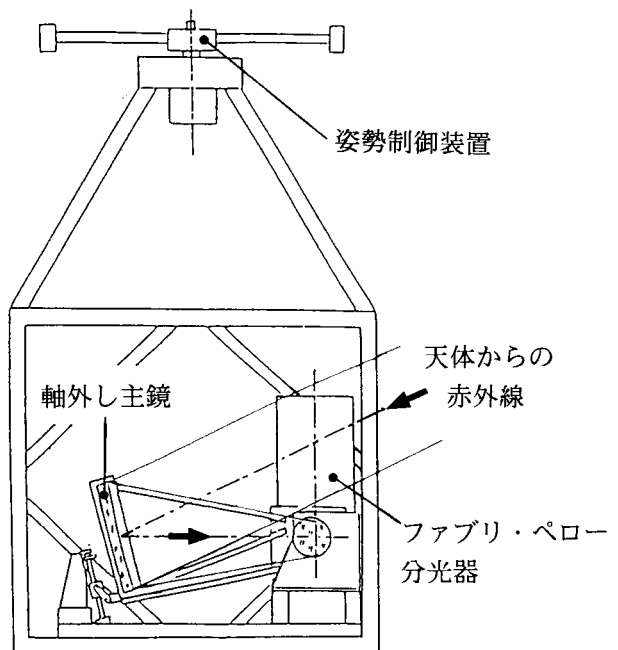


図1 気球搭載赤外線望遠鏡 BICE の概観

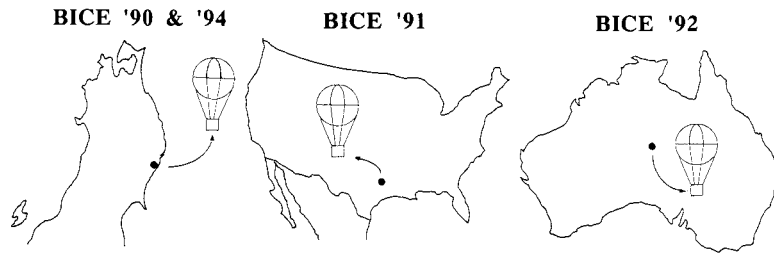


図2 BICE 観測実験の経過

決めるノイズの最大の源は、検出器自身がつノイズではなく、背景放射光の揺らぎである。しかも、背景放射光の最大の源は観測器自身である。

観測器からの背景放射光を押さえる最も有力な方法は、観測器を赤外線を出さないような低温まで冷却してしまうことである。BICE では、分光系（ファブリ・ペロー分光器）を全て、超流動液体ヘリウムで2 K という極低温まで冷却した。

さらに、望遠鏡も冷却したいところではあるが、まだ空気が残っている気球高度では、これは困難である。そこでBICE では、望遠鏡は常温ながらも、放射率を下げることで、背景放射光を軽減した。具体的には、光路中から放射体を取り除くために「軸外し光学系」を採用し、さらに鏡周辺からの放射光がもれこまないように175%という極端な「オーバーサイズ光学系」を採用した。

これらの工夫により、BICE の検出感度は大きく向上した。例えば、単位時間当たりの検出限界で比較すると、KAO の分光システムよりも、BICE では一桁以上の感度改善となっている。

3. 波長スキャン方式

広域観測のためにも、工夫が必要である。

大気中からの遠赤外線観測の最大の課題は、強大な背景放射をいかに取り除き、目的の信号のみをいかにとりだすかということである。

今まで背景放射除去ために一般的に用いられてきた方法は、「天体を含む空」と「天体を含まない空」とを、ビームをふりながら交互に観測する「空間チョッピング方式」である。しかし、空間チョッピング方式では、ビームのふり幅よりも空間的

に広がった成分については、原理的に観測が困難である。

そこで、我々は「波長スキャン方式」と呼ぶ方法を採用した。これは、信号の変調を空間的ではなく、波長方向に行うものである。これにより、背景放射は切り捨てられ、天体からのスペクトル線情報のみが抽出され、空間的に広がった成分も問題なく観測することができる。

前述の KAO では、ビーム振り幅が10'以下という空間チョッピング方式を用いていたため、観測領域の空間的な広がりは大変に小さなものであった。BICE では、波長スキャン方式の採用により、観測領域が KAO にくらべて2桁以上拡大した。

4. 実験経過

このように様々な新機軸を取り入れた BICE を用いて、1990年より図2に示すように、世界各地で観測実験を行ってきた。これらの実験により、銀河面をはじめとして様々な領域の観測が行われ、BICE が設計通り「高感度」で「広い領域」を観測できるシステムであることが実証された。

気球搭載観測器の場合、観測後は一般にはパラシュートで観測器を地上に降ろす。そして、(運がよければ?) 観測器は回収される。

BICE は、今までに、7回空を飛んだ。観測後の BICE は、テキサスの牧場や、オーストラリアの砂漠、さらには日本海や太平洋の塩水の中に落ちたが、その都度無事に回収され、元気に観測を続けている。

中川貴雄 (宇宙科学研究所)