



軌道赤外線望遠鏡の冷却

村上正秀

筑波大学構造工学系 〒305 茨城県新治郡桜村天王台 1-1-1

1. ま え が き

赤外線天文衛星 IRAS (infrared astronomy satellite) が打ち上げられ、原始惑星系の発見をはじめとする数々の成果をもたらした¹⁾ことは、記憶に新しい。地球大気による赤外線吸収および放射から自由な宇宙軌道上で、極低温に冷却した望遠鏡と検知器を駆使しての観測は赤外天体観測にとっての長年の夢であったが、近年の低温工学の発展によって実現を見るに至った。IRAS は、超流動液体である He II によって冷却がなされたが、これは赤外検出器に対してだけでなく、自身の発する熱雑音を極力低下させる目的で望遠鏡などの光学系にも適用された。こうして、IRAS の検知能力は地上観測の 100 ないし 1,000 倍程度に向上したという。

2. 冷却要求と冷却方法

では、どの程度の冷却が必要であるのかを表 1 により検知器と望遠鏡光学系に分けて見てみよう。近赤外領域では、検知器として代表的な InSb の、作動最適温度は 50K 程度であり、光学系も 100K よりも多少低い程度で十分であるが、遠赤外では、GeGa 検出器で 2K 以下、光学系も 10K 以下とすることが必要となる。このような低温状態を実現する方法は、一般には、必要とされる最低温度と冷却能力、冷却期間等により変わってくる。

表 1 赤外線検知器と光学系の冷却温度要求

検 知 器	波長領域	温 度
InSb	$\leq 5 \mu\text{m}$	$< 100\text{K}$
Si: XX (たとえば SiAs, SiSb)	$\leq 30 \mu\text{m}$	$< 10\text{K}$
Ge: XX (たとえば GeGa)	$\leq 200 \mu\text{m}$	$< 2\text{K}$
Ge ボロメーター	$< 1 \text{mm}$	$< 1\text{K}$
光 学 系	波長領域	温 度
近 赤 外	$\leq 5 \mu\text{m}$	$< 100\text{K}$
中 間 赤 外	6~20 μm	$< 20\text{K}$
遠 赤 外	30~1000 μm	$< 10\text{K}$

ただ、冷却能力は、このばあい、そう大きい必要はないので冷却システムは、次の 2 条件次第で差異がでてくる。第 1 には 70K 以下の温度を必要とするかどうかである。これより高い温度ではまったく受動的な放射冷却で間に合うが、それ以下の温度ではラジエーターの面積が大きくなりすぎる等の困難があり、代わって何かの冷媒を用いるか冷凍機を用いて冷やすか、すなわち積極的冷却が必要となる。もっとも、高温ではあっても、アレイ状素子を使用したりして発熱量が増加するときには、積極的冷却法が必要となる。第 2 の条件は、冷却期間が 2 年程度以内かどうかである。蒸発した冷媒の蒸気を外界へ捨ててしまう、開システム冷却系にあっては、冷媒の消耗がミッションの終了を意味する。したがって開システムでは、冷媒のもち時間は現実的には 2 年程度が限度と考えられる。それを越える長期ミッションでは宇宙での冷媒の再充填を試みるか、閉システムである冷凍機を使うかしなければならない。もっとも、両方とも宇宙用技術としては確立されるには至っておらず、2 年を越えるミッションというのは今後の課題である。

放射冷却の例を図 1 に示してあるが、これは 100K 以下の温度を実現するための 2 段式モデルで²⁾、常温から断熱された 190K の外側ラジエーターをガードとして用

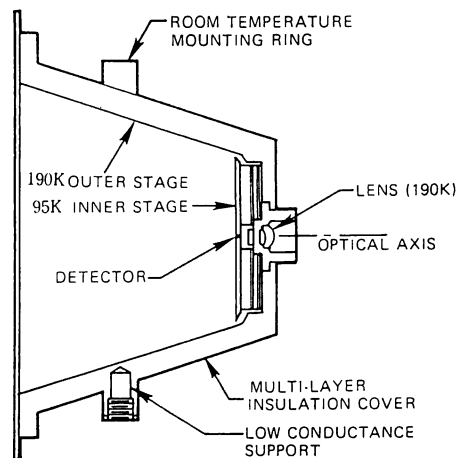


図 1 衛星用 2 段式ラジエーター

い、内側ラジエーターにより検知器を 95 K に保っている。開システムで用いられる液体冷媒としては、窒素からヘリウムまで広い温度範囲にわたり多くのものが考え

られるが、このうちで超流動性を示す He II の利用技術の進歩が、今日の宇宙赤外線天体観測に道を開いたといえよう。He II は、通常流体としての He I 相より温度はわずかに低いだけであるが、超流動性のおかげで熱伝達性能がきわめて良くなる等利点が多い。ただ液体冷媒は、無重力状態で気液界面の位置形状が不定となり、蒸発した蒸気の排気に際して液体もいっしょに排出され冷媒が短時間に失われてしまうから、タンクから外へは蒸気のみが弁別的に排気されるような装置 (相分離器)³⁾ が必要なのであるが、これも超流動性をうまく利用して実現できる。一方、固体冷媒も 200 K 以下で使える一酸化炭素から 10 K 前後の水素まで多様である。これらは固気共存状態で利用されるので、液体と違って液揺動 (スロッシング) がなく、また高い温度で大きな潜熱を利用できるなど利点も多く、単独で用いられる他、液体ヘリウムのガード用としても用いられる。

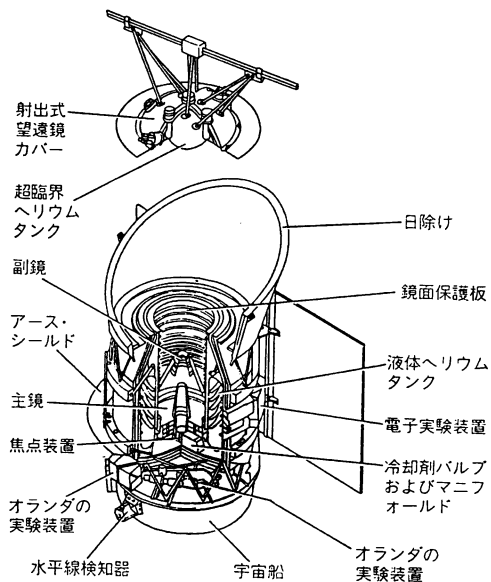


図 2 IRAS の構造図

3. IRAS の冷却システム

He II を用いる冷却システムの典型は IRAS (図 2⁴⁾) に見られる。反射望遠鏡をとり囲むように 475 l のトロイダルタンクが配置されており、そこからのヘリウム蒸

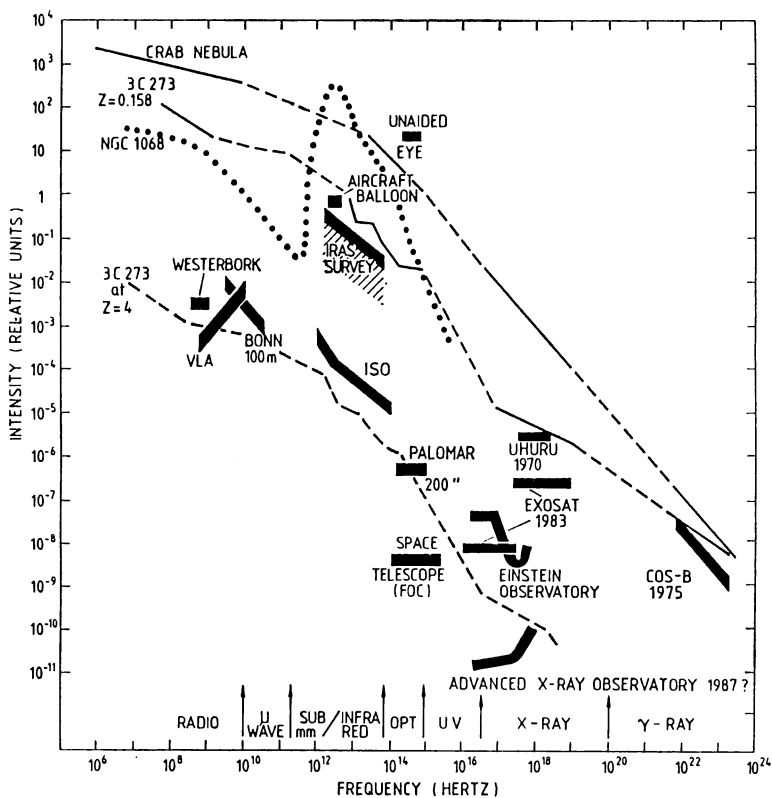


図 3 天文探査における各波長域での検出感度の比較

気は相分離器を経て検出器に導かれ、次いで鏡、鏡筒、2枚の放射シールドと巡らせてこれらを冷却し最終的に宇宙空間へ捨てられる。望遠鏡は57cmのカセグレン型で、8~100 μ mまでの4バンドの検出器を備え、約10か月間に天空の98%を観測した。開口部前方に張り出しているのは日除けで、それと開口部との間にはリング状のラジエーターが配され、これも冷却に寄与している。

4. 今後の課題

今後はより先鋭なミッションが追求されると同時に、地球探査や気象観測といった実用衛星においても検知器の多素子化に伴う発熱量の増大に対処すべく積極的冷却法が必要となろう。ここ10年くらいのうちに打上げを計画する先鋭的ミッションとして、米国ではCOBE (Cosmic Background Explorer), 口径80cm以上の望遠鏡を用いて10年間の観測を目指すSIRTF (Space Infrared Telescope Facility) があり、また液体水素とHe IIを用いて2年間の観測を狙うISO (Infrared Space Observatory) がESAにより準備されている。これらの赤外線観測衛星の打上げが急がれる背景には、他の波長領域(可視光に加えて最近ではX線から電波にまで及

ぶ)に比べて、赤外の検出感度がIRASをもってしても相当劣っていることがある(図3⁵⁾参照)。さらに将来的には、遠赤外線観測のために0.3K程度以下の冷却が望まれており、³He冷凍機、希釈冷凍機、磁気冷凍機等の応用が検討されている。また観測の長時間化のため、スターリングサイクルをはじめとする冷凍機の開発、宇宙での冷媒の再充填技術の開発等も行なわれている。わが国でも90年代打上げを目指す研究開発が進められている。

文 献

- 1) H. J. ハービング, G. ノイゲバウアー: "赤外線でみた宇宙", 日経サイエンス, 1月号(1985).
- 2) A. Sherman: "Cryogenic cooling for spacecraft sensors, instruments, and experiments," *Astronaut. Aeronaut.*, **16**, 11 (1978) 39-47.
- 3) M. Murakami: "Thermo/fluidmechanics of He II flow through porous plugs," *Proc. of Space Cryogenics Workshop* (Free University, Berlin, 1984) pp. 70-82.
- 4) 奥田治之: "宇宙に新時代を開いたIRAS", 自然, **458**, 3 (1984) 18-27.
- 5) D. Eaton: "The status of the ISO Project," *Proc. of Space Cryogenics Workshop* (1984) pp. 95-109.

(1985年9月17日受理)