

赤外スペース天文台

田 辺 俊 彦

〈東京大学理学部天文学教育研究センター 〒181 東京都三鷹市大沢 2-21-1〉

ヨーロッパ宇宙機関 (ESA) は 1990 年代半ば打ち上げを目指して、赤外スペース天文台 (Infrared Space Observatory, 以後 ISO (アイソ)) を開発しています。ISO は 1980 年代半ばに打ち上げられ画期的な成果をあげた IRAS に次ぐ本格的な大型赤外線軌道望遠鏡で、撮像、偏光・測光、分光装置等 IRAS をはるかに凌ぐ 4 つの観測装置を搭載し、大部分今まで観測されたことのない波長域 2.5—200 μm を高い精度で観測することができます。また、研究者の観測提案に従い個々の天体を詳しく観測する ISO はまさに天文台であり、太陽系天体の研究から宇宙の起源と進化にいたるまで、天文学のあらゆる分野の研究に大きく貢献すると思われ、ヨーロッパのみならず全世界の期待を担っています。

まずはじめに

なぜ大気圏外からの観測が必要なのかについて少し説明しましょう。

可視光より波長が長く電波より波長の短い電磁波を赤外線と呼んでいます。本年 1 月号の牧島氏の記事¹⁾の図 1 から判るように、その大部分は地球大気に吸収されてしまい、幾つかの「地球大気の窓」と呼ばれる領域の赤外線だけが地上まで到達します。赤外線による観測の重要性は、90 年代後半に続々と建設される世界の 8 m 級望遠鏡の多くが、このわずかな「大気の窓」を通して赤外線を観測するように最適化されていることから判ります。これは赤外域の観測がなぜ重要かという問いの答にはなっていませんが、それはこの記事の範囲を越えるのでここでは述べません。地上からの観測は大気による吸収のみでなくさらにその放射によっても制限されます。物体はその温度に応じて電磁波を放出しますが、地球大気や望遠鏡のような常温物体は赤外域に最も強い熱放射を

行っており、それが雑音になるためです。この 2 つの困難を克服するためには大気圏外から観測する必要があります。またその場合でも熱雑音を極力おさえるため、望遠鏡自身も極低温にすることが望ましいこととなります。ところで、そのためには望遠鏡全体をクライオスタットと呼ばれるポットのような容器に入れなければならず、また冷やすための冷媒を積み込む必要があります。このため、口径 60 cm の望遠鏡でも後で紹介するような大きさ、重さの衛星となり、「大型」の軌道赤外線望遠鏡となるのです。

ヨーロッパの 13 の国々が加盟するヨーロッパ宇宙機関 (ESA) は米国と共同で、1995 年の打ち上げをめざし、このような天文衛星である

ISO 衛星

の開発を行なってきています。

ISO 衛星はペイロードモジュールとサービスモジュールとからなり、前者は望遠鏡、観測装置等の入ったクライオスタットで、後者は太陽電池の貼り付けてある太陽光遮光パネル、天体追尾のためのスタートラッカー、電源、姿勢制御、通信

Toshihiko Tanabe: Infrared Space Observatory

設備等を含んでいます。全体として、長さ5.3m、幅2.3m、重さ2.4トンと巨大で、天文台と呼ぶにふさわしいものです。図1にISO衛星の断面図を示します。クライオスタットには望遠鏡及び観測装置を4K(-269°C)以下に冷やすための冷媒として超流動ヘリウムが約2300リットル積まれます。観測期間はこの液体ヘリウムの量で制限され、寿命は1.5年から2年と見積もられています。この衛星はアリアン-44Pというロケットで打ち上げられ、近地点1000km、遠地点71000km、軌道傾斜角5.25°、周期約24時間の長円軌道をまわります。図2はその軌道の模式図です。地球には地表約1000kmから数万kmにかけて放射線帯が取り巻いていて、赤外線検出器に悪い影響を及ぼ

すと考えられていますが、ISO衛星のこのような長円軌道はISOがこの外に出て良い観測条件のもとで天体が観測できるように決定されたものです。

クライオスタットに入った望遠鏡はリッチークレチアンタイプで、有効口径60cm、全体のF比は15となっています。反射鏡の裏側の焦点部にはISOの生命ともいえる非常に精巧な

4つの観測装置

が搭載されます。

ISOCAM (ISO Camera) は2つの32×32素子の検出器を用い2.5—18μmの波長域で撮像を行う装置です。広帯域、狭帯域のフィルターを選択

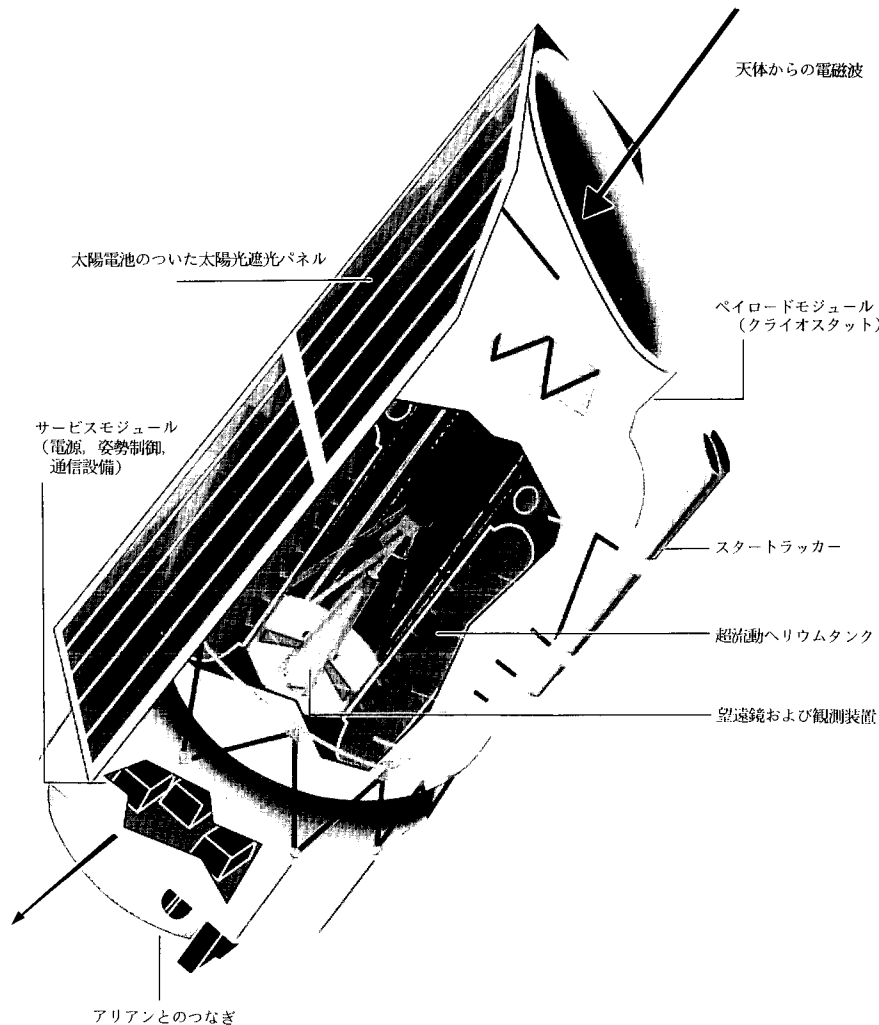


図1 ISO衛星

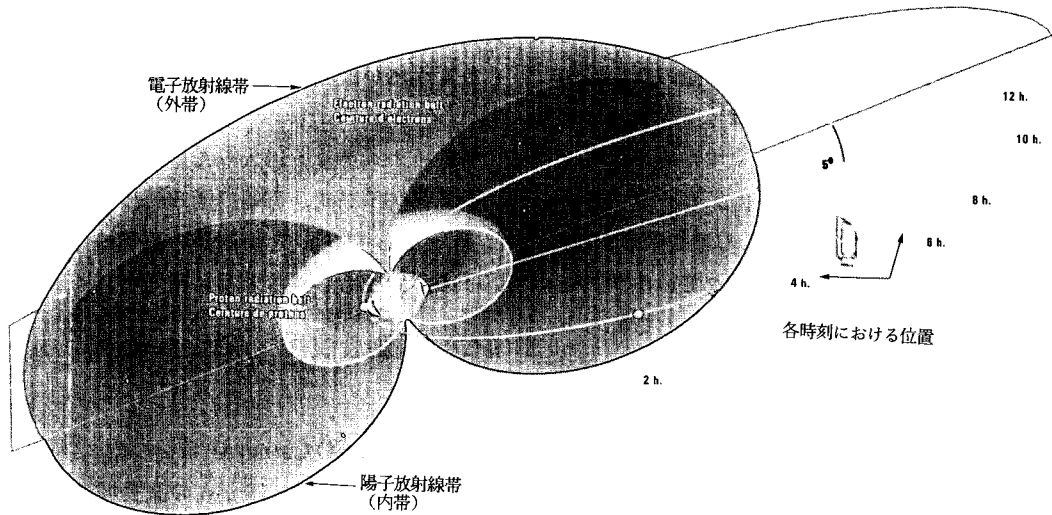


図2 ISO衛星の軌道

することにより観測したい波長域を選ぶことができ、また偏光板を挿入することで偏光観測も可能です。さらにサーキュラーパリアブルフィルターという低分散素子 ($\lambda/\Delta\lambda \sim 50$) で分光撮像することもできます。また1素子当りの視野を1.5, 3, 6, 12"と変えることができます。

ISOPHOT (ISO Photometer) は波長域2.5-200 μm での測光を主とする装置で、-C, -P, -Sの三つの観測機器を備えています。ただし、一度に使えるのは一つだけです。焦点面にはチョッパーが備えられており、チョッピング観測が可能です。ISOPHOT-Cは40-200 μm での広帯域(撮像)偏光・測光器で、フィルターを選択することにより波長域を選ぶことができます。3×3(C 100)と2×2(C 200)の検出器を備えており、1素子当りの視野はそれぞれ43.5×43.5", 89.4×89.4"です。ISOPHOT-Pは3つの単一素子検出器を用いた、3.3-100 μm 域での偏光・測光器で、フィルターで波長域を選択するとともにアパーチャーも色々あって選択することができます。ISOPHOT-Sは2つの回折格子と2つの64素子からなる1次元検出器を備えた近中間赤外中分散 ($\lambda/\Delta\lambda \sim 100$)分光器で、波長域2.5-12 μm のスペ

クトルを一度に得ることができます。

SWS (Short Wavelength Spectrometer) は波長域2.5-45 μm での分光測光観測を目的とする装置です。ほとんど独立な2つの回折格子分光器からなり、通常の波長分解能 ($\lambda/\Delta\lambda$) は1000-2500程度ですが、分解能を犠牲(1/2)にして観測時間を1/6にする観測モードもあります。波長スキャンは回折格子近くの平面鏡を回転させて行ないます。またファブリーペローフィルターという高分散素子を挿入することにより15 μm より長波長で分解能25000-30000の観測が可能です。

LWS (Long Wavelength Spectrometer) は10個の検出器が歯抜けにスペクトル方向に並んだ回折格子分光測光装置で波長45-200 μm をカバーします。波長スキャンは回折格子を回転して行ないます。波長分解能は100-300です。SWS同様にファブリーペローフィルターを挿入することができます。LWSのどの波長域でも分解能10000の観測ができます。

これら観測装置の概略を表1にまとめておきますが、詳しく知りたい方は文献²⁾を参照して下さい。

ISOによる観測では1観測1装置が原則です

表1 ISO 観測装置の概要

観測装置	主機能	波長域(μm)	波長分解能($\lambda/\Delta\lambda$)	空間分解能	装置の概要
ISOCAM	撮像, 偏光・測光	2.5-18	広帯域, 狭帯域フィルター, サーキュラーパリアブルフィルター(40-50)	1.5, 3, 6, 12"	2チャンネル32×32素子カメラ
ISOPHOT					
ISOPHOT-C	撮像, 偏光・測光	40-200	広帯域, 狭帯域フィルター	43.5" (C100), 89.4" (C200)	3×3素子カメラ 2×2素子カメラ
ISOPHOT-P	偏光・測光	3.3-100	広帯域, 狭帯域フィルター	5-180" (13通りに可変)	多波長, 多パーチャ-測光器
ISOPHOT-S	近中間赤外分光測光	2.5-12	~100	24"	非スキャン型回折格子分光器
SWS	近中間赤外高分散分光	2.5-40	1000-2500または25000-30000 ($>15\mu\text{m}$)	14×20" (短波長側), 20×40" (長波長側)	回折格子+ファブリ-ペロー分光器
LWS	遠赤外高分散分光	45-200	100-300または10000	1.65'	回折格子+ファブリ-ペロー分光器

が, ISOCAM 以外の装置による観測の場合 ISOCAM も同時に使用できます。

ところで, これら 4 つの観測装置にはそれぞれ AOT (Astronomical Observation Template) と呼ばれる限られた数の観測モードしかなく, 全く自由に観測装置を使えるわけではありません。これは例えば, ある天体のある波長での偏光を測定するとか, ある天体の領域をラスタースキャンしながらある波長域のスペクトルを取るとかいうものです。AOT には通常行なわれるような観測はほとんど全て含まれており実質的な問題はありますが, 観測提案者は観測が目的通り行なわれるよう AOT のパラメーター, 例えば, 目的天体の位置, 観測したい波長(域), 予想される明るさ等を全て指定しなければなりません。従って観測提案者は使用したい観測装置について熟知している必要があります。この AOT は次に述べる観測のスケジューリングを容易にするという意味もあります。

IRAS 衛星が特定の天体を観測するのではなく全天サーベイを行なったのに対し, ISO は観測提案者のプロポーザルに従って特定の天体を観測し

ます。しかし, 地上の望遠鏡による観測のように, 観測者があれこれ指示しながら観測するわけではありません。

ISO 衛星の運用

は通常, 前もって綿密に立てられたスケジュールに沿って行なわれるのです。これはもちろん, 観測が天候などに左右されないスペースから行なわれるために可能なのですが, また, ISO には寿命があり, 限られた観測時間を無駄なく効率的に使うためでもあります。観測が行なわれている間は常時数人の科学者が受信局におり, これらの科学者がその観測に責任を持つことになっています。従って, 観測装置の動作状況をチェックすると共に, 観測の質も評価します。不測の事態が起こった時, あるいは何らかの理由で目的通りの観測ができないと判断した場合にのみスケジュールの変更を行ないます。このことは観測が行なわれている時に観測提案者が受信局とか管制センターにいる必要のないことを意味します。

さてこれら

ISOによる観測

は、上に述べたように、観測提案者のプロポーザルに沿った、個々の天体の観測です。つまりISOの観測時間は基本的に個人個人に分け与えられるのです。ただしISOの全観測時間の1/3は機器開発に携わった人達等に優先的に与えられ(Guaranteed Time, GT) ることになっています。このような天文研究者は何年にもわたってISO計画に携わってきており、もちろん赤外線観測に興味を持っているわけですから当然と言えば当然です。このGTではある程度まとまった時間が取れることもあり、「大提案」とも言うべき学問的に非常に価値の高い観測提案が期待され、CP(Central Programme)などと呼ばれています。このCPは4年以上の時間をかけて慎重に検討されてきており、最終案が固まりつつあります。その大部分は既に知ることができ、対象天体は太陽系天体、様々なタイプの星、赤外線星、星形成領域、原始惑星系円盤、星間塵、星間雲、系外銀河、クェーサー、原始銀河等と天文学のあらゆる分野にわたっています。

ISO観測時間の残り2/3が一般の研究者に解放され(Open Time, OT)、一般公募(Announcement of Opportunity, AO)となります。AOの募集は全部で3回されることになっており、第一回はCPが確定した後、打ち上げの約18ヶ月前から、第二、第三回は打ち上げ後に行なわれる予定です。AOではCPの観測と抵触することはできません。従ってAOに応募するためにはCPを良く知っていなければなりません。AOに応募されたプロポーザルは専門の審査委員会にかけられ、きびしい審査の末、科学的に意義のあるものが選び出されることになります。

ISOの観測時間は限られており大変貴重です。そのためISOによる観測は学問的に意義ある観測というだけではなく、他の手段ではできない、ISOによってのみ可能な観測でなければなりません。

せん。このような観測のプロポーザルを作成するのは結構大変な作業ですが、ESAはこの作業を軽減し、しかもプロポーザルを間違いなく作れるようにPGA(Proposal Generation Aids)というソフトウェアを用意しています。現在既にCP用のPGAが配布されており、また一般公募時にはAO用のPGAも配布される予定です。このPGAにはISO衛星の軌道、観測装置の性能やAOTに関する情報等が含まれ、プロポーザルを対話的に作成できるような様々な機能が備わっています。また作成されたプロポーザルは、先に述べたISO観測のスケジュールリングの手間を軽減するために、電子メールによってまたはフロッピーディスクを送ることによってESAへ提出することが義務付けられており、PGAはこのような形式のプロポーザルを作成するのに適したものとなっています。

このように作成され選別された観測提案による観測でどのような発見があり、どのようなことが解明されるのでしょうか。それは私たちの住んでいるような太陽系の起源かもしれません。あるいは星の誕生でしょうか。褐色矮星が発見されるかもしれません。またこの宇宙の起源が解明されるかもしれません。しかしそのような予測するのは筆者の能力を完全に越えています。また誰も予想しなかったことこそ本当の意味での大発見と言えるのかもしれません。いずれにしてもISOは天文学のあらゆる分野に大きな影響を与えることと思います。ISOの成功を祈ってこの辺でISOの紹介を終わりにします。

参考文献

- 1) 牧島一夫, 「大気圏外からの宇宙観測」, 1992, 天文月報 85, No. 1, 6.
- 2) ESTEC編, 「Scientific Capabilities of the ISO Payload」, 1991, ISO-SSD-8805, Issue 1.0.