



● 講演 I

すばる望遠鏡から
超巨大望遠鏡へ

家 正則

(国立天文台 教授)



日本天文学会 公開講演会

技術開発が拓く宇宙の扉

日時：2007年9月29日(土) 14:00～17:00 (開場 13:30)

場所：未来会館／長良川ホール (岐阜市学園町 TEL 058-296-0888)

対象：中学生以上・一般向け

※入場無料、当日ご自由においでください。

● 講演 II

赤外線天文衛星「あかり」
が挑む暗黒の宇宙

中川 貴雄

(宇宙航空研究開発機構 教授)



すばる望遠鏡から超巨大望遠鏡へ

家 正則（自然科学研究機構国立天文台教授）



1. はじめに

本講演では、まず最新の宇宙像についてその概要をお話し、実際に私たちがすばる望遠鏡を用いて行っている遠い銀河の観測的研究の意義と成果をお話させていただきます。続いて、遠い銀河の観測にも大活躍すると期待している「補償光学」というハイテク技術の原理と実際について紹介させていただきます。最後にすばる望遠鏡での様々な成果を礎に、直径30mの鏡に相当する次世代の超大型望遠鏡を国際協力で建設する夢についても、お話致します。写真をたくさん使ってなるべく分かりやすくお話しますので、気楽に聴いてください。

2. 最新の膨張宇宙観

近年の観測的宇宙論の発展には目を見張るものがあります。「ビッグバンが起こったのは今から約137億年前」であり、「宇宙は現在加速

膨張に転じている」という宇宙全体の枠組みに関する大きな描像に加えて、ビッグバン宇宙の中で私たちの銀河系のような銀河がいつ頃生まれ、どのように成長してきたのかということについても、観測の進展で具体的な描像が得られつつあります。その描像とは以下のようなものです。

ビッグバンから約38万年後に約3000度にまで冷えた宇宙は、陽子と電子が結合しダークマターと中性水素原子に満たされました。中性化した宇宙は光と物質の相互作用が切れ、これ以降の宇宙は背景放射以外には光の無い闇の世界となりました。やがてダークマターの密度ゆらぎが成長し、その重力で物質が集まり、多くの星が一斉に生まれます。このような「原始銀河」は、ビッグバン後約3億年ごろには、あちこちで生まれたと考えられます。計算機シミュレーションでは、原始銀河は互いに無数の衝突合体を繰り返して大きくなり、今日の楕円銀河や渦巻銀河に成長してきたと考えられています。

衝突合体する銀河の中では新しい星が生まれます。生まれる星には大質量星から小質量星までいろいろありますが、星の世界では大質量星ほど明るく寿命が短いという傾向があります。星のベビーブームが起ると、銀河間空間の中性水素ガスが電離されます。ビッグバンから38万年後に中性化した宇宙は、こうして再び熱せられ、「再電離」するようになります。ビッグバンから約10億年後には、宇宙空間に漂うガスが再び完全に電離したことが確かめられていますが、この再電離がいつごろどのように進んだのかを調べることで、原始銀河がいつごろどれくらい生まれたのかを推し量ることができます。しかし、この問題に正面から取り組むには、「実際にその時代の銀河を見つけて調べる必要」があります。「遠い銀河ほど昔の姿」を見ていることになるので、このためには遠い銀河を探すことが重要になります。

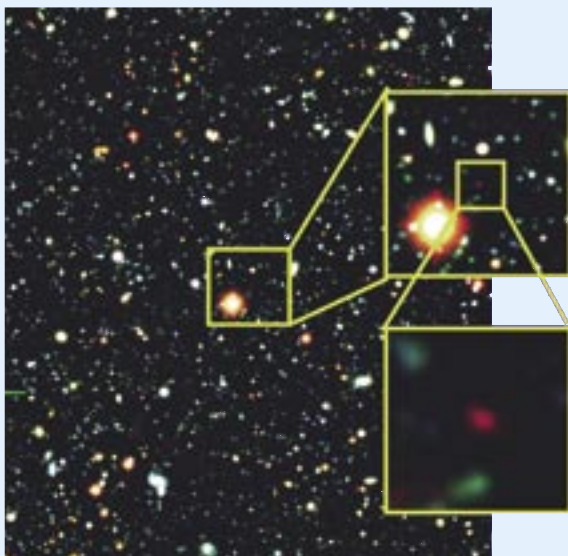


図1 すばる望遠鏡で発見した129億光年かなたの最遠銀河。赤方偏移7.0、ビッグバン後約8億年（現在から約129億年前）の時代の銀河10K-1（画面中央の赤い天体）は、すばる望遠鏡に波長973ナノメートルの光だけを通すフィルターをつけて15時間露出した画像に写った41533個の銀河を詳しく調べて唯一見つかった最も遠い銀河です。

順位	天体名	座 標	赤方偏移*	距 離	論 文	公 表 日
1*	IOK-1	J132359.8+272456	6.964	128.826	家ほか	2006年9月14日
2	SDF ID1004	J132522.3+273520	6.597	128.250	谷口ほか	2005年2月25日
3	SDF ID1018	J132520.4+273459	6.596	128.248	柏川ほか	2006年4月5日
4	SDF ID1030	J132357.1+272448	6.589	128.238	柏川ほか	2006年4月5日
5	SDF ID1007	J132432.5+271647	6.580	128.222	谷口ほか	2005年2月25日
6	SDF ID1008	J132518.8+273043	6.578	128.219	谷口ほか	2005年2月25日
7	SDF ID1001	J132418.3+271455	6.578	128.219	小平ほか	2003年4月25日
8*	HCM-6A	J023954.7-013332	6.560	128.189	Hu ほか	2002年4月1日
9	SDF ID1059	J132432.9+273124	6.557	128.184	柏川ほか	2006年4月5日
10	SDF ID1003	J132408.3+271543	6.554	128.178	谷口ほか	2005年2月25日

* 距離は宇宙年齢を 136.6 億歳とするモデルによる値。単位は億光年。

* この銀河のみケック望遠鏡で発見されたが、他はすべてすばる望遠鏡による発見。

* 重力レンズ効果で増光した銀河で、その色から赤方偏移が7以上と推測されている銀河が数例報告されている。ただし、どれも分光観測での赤方偏移の確認はできていないため、公式記録ではない。

図2 最遠銀河ベストテン。すばる望遠鏡による発見が9つを占めています。

3. 最も遠い銀河を見つけました

すばる望遠鏡では、かみのけ座の一角に狙いを定め、広角カメラで宇宙の奥深くまで徹底的な探査を行ってきました。図1は、2006年にNature論文で発表した、その距離129億光年の最遠銀河 IOK-1 の写真です。ビッグバン後約8億年の時代の若い銀河が放つ水素原子の特徴的な光を捉える特殊フィルターを開発して、2年がかりの探査を精力的に行った結果、発見したものです。

この数年間のすばる望遠鏡による一連の観測により、最も遠い銀河のベストテンのうち9つまでがすばる望遠鏡による発見となっています(図2)。銀河の出生と成長の研究が、想像の世界からいよいよ観測で実際に見る時代に入りつつあります。講演では、すばる望遠鏡による最遠銀河探査の苦労話、世界的な競争の状況、わくわくする今後の秘密観測計画などについてもお話し致します。

4. 超ハイテク技術：レーザーガイド補償光学系

最遠銀河の発見などすばる望遠鏡の活躍は、広角カメラで広い夜空を探ることができたからです。すばる望遠鏡のライバル望遠鏡には、このような機能が無いため、遠い過去の宇宙を観測する研究はすばる望遠鏡が世界をリードしています。この分野の研究を更に大きく発展させるため、最近、私たちのグループはすばる望遠鏡の観測能力を10倍に高める「補償光学系」という装置を完成させました。

この装置は地球の大気のゆらぎを毎秒1000

回の速さで測定し、そのゆらぎを打ち消すように小型の薄い反射鏡の表面の形を変えることで、まるで真空中で見ているようにシャープな画像を実現する、超ハイテク装置です。画像を後で処理するのでなく、乱れた光そのものを実時間で制御して、素直な光に直してしまうのです。その原理を示したのが図3です。

新しい補償光学系では、すばる望遠鏡から強力なレーザー光ビームを夜空に照射して、すばる望遠鏡の見ている方向に、十分に明るい「人工星」を上空100kmの上層大気中に発生させ、「いつでもどこでも使える」ようにしました。こんなことができるのは上空約100kmの大気中にナトリウム原子密度が高い層があり、ナト



図3 188 素子レーザーガイド補償光学系の原理

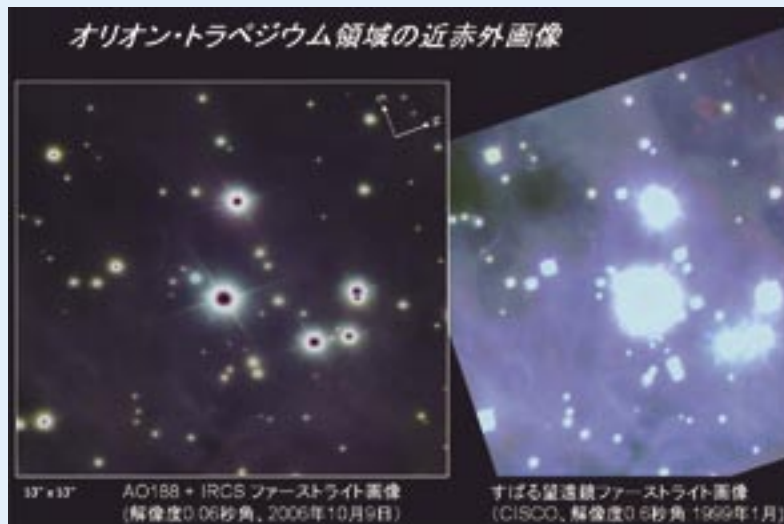


図4 188 素子補償光学系の初観測で2006年10月に撮影したオリオン座トラペジウムの画像(左)と1999年に撮影した補償光学無しの画像(右)。解像力は0.6秒角から、回折限界にあたる約10倍の0.06秒角に向上しています。



図5 2006年10月に行ったレーザーガイド星生成用レーザービーム初照射実験。合成画像ではなく、実写です。

リウムのD線で発振するレーザー光を照射すると、上空のナトリウム原子が励起されて光からです。

2006年10月にはこの補償光学系の初観測を行い、すばる望遠鏡の解像力が「裸眼」の場合の10倍に向上することを実証しました(図4)。また、レーザーガイド星生成システムのレーザービーム初照射実験にも成功しました(図5)。講演では、補償光学の原理と実際について画像を使って詳しくお話します。

5. 2020年までには直径30m級望遠鏡ができるでしょう

すばる望遠鏡は1984年から本格的な検討を始め、1991年から9年がかりで建設し、2000年から観測を開始しました。つまり考え始めてから実現までに17年かかっています。

すばる望遠鏡をはじめとして、現在世界中では直径8mから10mの望遠鏡が10台ほど完成して、観測が精力的に行われています。そこで、日米欧の天文学者は2020年頃の宇宙観測を行うために、次世代の超大型望遠鏡を国際協力で建設する可能性を本格的に検討し始めています。

望遠鏡が大きくなると集められる光の量がそ

の鏡の面積に比例して増えます。また補償光学技術を高度化すれば、より大きい望遠鏡ほど解像力を高めることができ、星像を小さくシャープにできますので、集めた光をより狭い像に積み上げることができます。このため補償光学を備えた望遠鏡ではその直径をDとすると、星の光の強さは D^4 に比例して強くすることができます。次世代の30m級望遠鏡に補償光学装置を装備すれば、その視力は想像もできないほど高いものになるはずです。

●参考文献

家 正則他：『2020年の宇宙学へ』「科学」9月号特集、岩波書店(2007)

家 正則他編：『宇宙の観測I-光・赤外天文学』日本評論社(2007)

Iye, M. et al. : Nature, 443, 186. (2006)

家 正則：『すばる望遠鏡』(岩波ジュニア新書)岩波書店(2003)

高見英樹：『パリティ』(第17巻5号22-28)丸善(2002)

家 正則監集：『21世紀の宇宙観測』誠文堂新光社(2002)

★関連するホームページ

●すばる望遠鏡について

http://subarutelescope.org/j_index.html

●最遠銀河発見について

http://subarutelescope.org/Pressrelease/2006/09/13/j_index.html

●レーザーガイド補償光学について

http://subarutelescope.org/Pressrelease/2006/11/20/j_index.html

●次世代超大型望遠鏡計画について

<http://jelt.mtk.nao.ac.jp/index.html>



赤外線天文衛星「あかり」が挑む暗黒の宇宙

中川貴雄

(宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究本部 教授)

図1 可視光線で見た世界(左)と、赤外線で見えた世界(右)。可視光線(左)では同じように見える缶コーヒーが、赤外線(右)では全く異なって見えます。



1. 赤外線で宇宙を見る

私たちは、望遠鏡を搭載した人工衛星を宇宙に打ち上げて、赤外線による天体観測を行っています。赤外線で宇宙を見ると何がわかるのでしょうか？

赤外線という言葉から何を思い浮かべますか？「こたつ」でしょうか？

赤外線は、「熱」と大変に深い関係にあります。熱を持っているものは、全て赤外線を出しています。その様子を日常の世界で見てみましょう。図1をご覧ください。図1の左の写真は、可視光線すなわち私たちの目に見える光で見た世界です。一方、図1の右の写真は赤外線の写真です。強い赤外線を出している部分、すなわち温度の高い部分が白く写っています。右の図を見ると人が赤外線で輝いていることがわかります。また、可視光線ではまったく同じに見える2つの缶コーヒーが、赤外線で撮った写真では、まったく異なる明るさに写っていることがわかります。この写真で白く見えている缶コーヒーは実は「温かい缶コーヒー」であり、黒く見えているのは「冷たい缶コーヒー」です。このように、可視光線では区別がつかなかった物質でも、赤外線で見れば、その温度に応じて、はっきりと違いがわかるのです。

また、可視光線では照明を消してしまえば真っ暗になり何も見えなくなってしまいます。これは、人や缶コーヒー自身が可視光線を出しているわけではなく、照明に照らされて見えているからです。一方、赤外線ではそのようなことはおこらず、照明を消しても赤外線の写真は変わりません。これは、赤外線が、物や人自身

が放射しているものだからです。

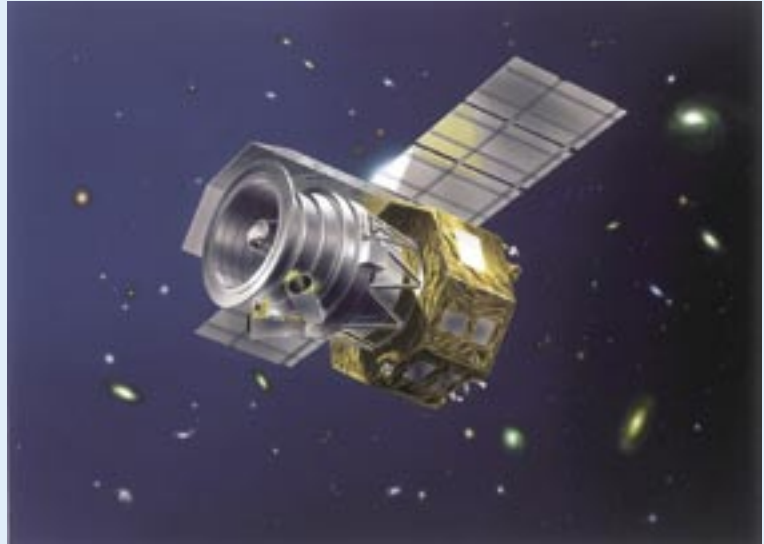
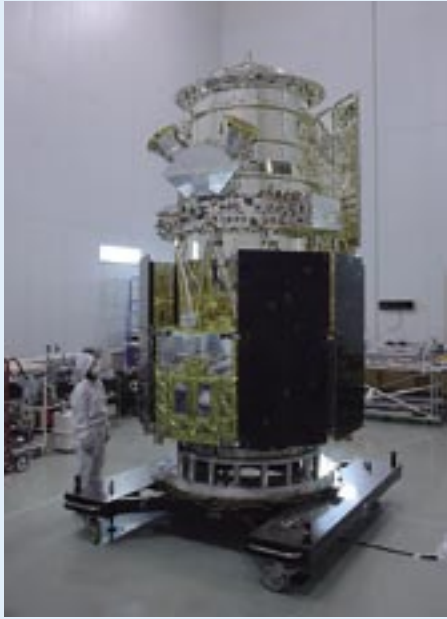
このように、赤外線を通してみれば、物質自身が、その持っている熱に応じて放射しているエネルギーを見ることができます。これは、宇宙においても、天体の本質を調べる上で大変に重要な役割を果たします。

例えば、太陽のような通常の星は可視光線で見えますが、これから生まれてこようとする星、すなわち原始星は、通常の星よりも低温のため、可視光線ではまったく見ることができず、赤外線でのみ輝いていると考えられています。したがって、星がどこで生まれ、どのように進化していくのかという歴史をさぐるためには、赤外線による宇宙の観測が欠かせないのです。

2. 赤外線天文衛星「あかり」

このように、赤外線による宇宙の観測は、天文学の多くの重要課題に挑むことができる貴重な研究手段ですが、観測の実現は大変に困難です。その最大の原因は、大半の赤外線に対して、地球の大気が不透明であるということです。天





◀▲図2 赤外線天文衛星「あかり」。左：打ち上げ前の最終点検での様子。右：軌道上での観測中の様子（想像図）。（JAXA 提供）

体からはるばるやってきた赤外線の多くが、地球の大気に阻まれ、地上にいる私たちの手元にまで届かないのです。したがって、地球の大気に吸収される前に、スペース（宇宙）からの観測を行うことが必要です。

そのために、私たちは、赤外線による天体観測専用の人工衛星を作りました。ASTRO-F（アストロ・エフ）と呼ばれる衛星です。ASTRO-Fは、2006年2月22日午前6時28分に、鹿児島県の内之浦宇宙空間観測所から、M-Vロケットにより無事に打ち上げられ、「あかり」と命名されました。図2（左）に、打ち上げ前にクリーンルームで最終検査をしている「あかり」の様子を、図2（右）に、軌道上で観測中の「あかり」の様子を、それぞれ示します。

「あかり」に搭載されている望遠鏡は、口径70cmの反射望遠鏡です。望遠鏡の大きさだけで言えば、ハワイのすばる望遠鏡の8mに比べて小さなものです。しかし、「あかり」の望遠鏡には他の望遠鏡にない大きな特徴があります。それは、摂氏-267度という極低温まで冷却されているということです。

望遠鏡を冷却することによって、どのようなメリットがあるのでしょうか？先に述べましたように、「熱」を持つものは、何であれ、赤外線を放出します。それは、望遠鏡でさえ、例外ではありません。摂氏20度前後の通常の温度にある望遠鏡は、その「熱」のために、実は強い赤外線を放っているのです。その赤外線の強度は、天体からやってくる赤外線よりも、数十万倍から数百万倍も強いものです。そのため、通常の

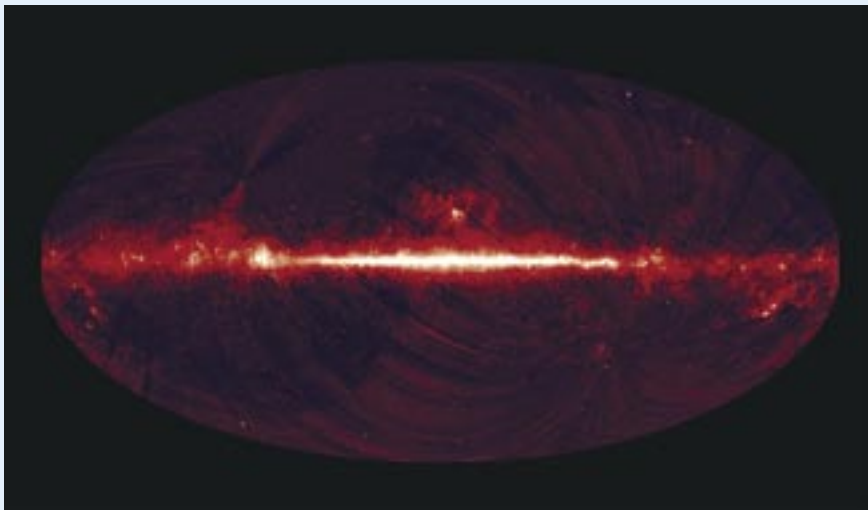
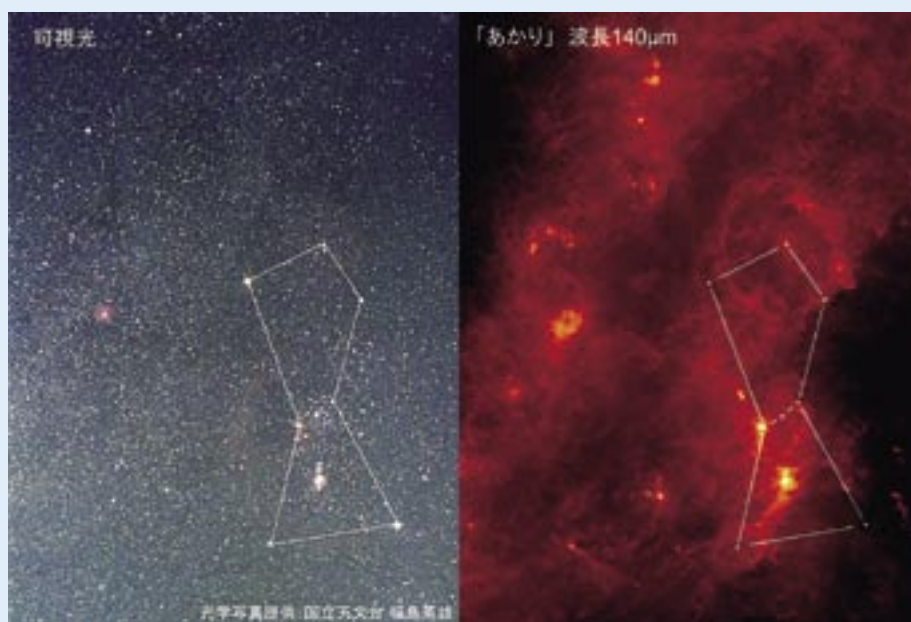


図3 波長9ミクロンの赤外線の全天画像（JAXA 提供）。



図4 可視光線で見たオリオン座（左）（国立天文台提供）と、波長 140 ミクロンの赤外線で見えたオリオン座（右）（JAXA 提供）。



温度にある望遠鏡で、天体からの赤外線を観測しようとしても、望遠鏡が放出している強烈な赤外線に目がくらんでしまい、とても暗い天体など観測できません。

この望遠鏡から放射される強烈な赤外線を消すためには、赤外線の源となる熱を奪ってやること、すなわち望遠鏡を冷却することが必要となるのです。しかも、高感度の観測を行おうとすれば、先ほど述べましたように、摂氏-267度という極低温にまで望遠鏡を冷却することが必要となるわけです。このように「あかり」の望遠鏡は、極低温冷却による高感度観測を実現する「山椒は小粒でもぴりりと辛い」望遠鏡なのです。

3. 「あかり」が見た宇宙

このような特徴をもった「あかり」衛星の観測成果をいくつか紹介します。

まず、「あかり」の観測成果の一例として、波長 9 ミクロンの赤外線強度の全天画像を図3に示します。横に細長く伸びているのが赤外線で見えた私たちの銀河系 = 天の川です。銀河系なかに浮いている「塵」が星の光で暖められて赤外線を放出しているのが見えています。また、また、図の中央が私たちの銀河系の中心方向です。可視光線では、この方向は大量の塵に阻まれ、遠くまで見ることはできませんが、赤外線では、銀河系の中心部が明るく輝いていることが一目瞭然です。

次いで、図4の右側に、波長 140 μm の赤外線のみ見たオリオン座を示します。比較のため

に、可視光線で見たオリオン座も図4の左側に示します。赤外線で見えるオリオン座は、可視光線でみるオリオン座とは全く異なります。赤外線では、現在、星が活発に生まれている領域の分布が、鮮やかに描き出されています。

このように、「あかり」は、目に見えない暗黒の宇宙の新しい姿を、私たちの前に、次々と明らかにしてくれています。

4. 次なる挑戦 SPICA (スピカ)

「あかり」の大きな成功を受けて、私たちは次に、口径 3.5m という、「あかり」の5倍もの口径をもつ望遠鏡を宇宙に打ち上げたいと考えています。SPICA (スピカ) 計画と呼ばれるものです。2010年代の半ばには実現したいと考えています。SPICAは、私たちの太陽系外の恒星の周りの惑星を直接に検出するなど、私たちの宇宙観を大きく変えると期待されています。

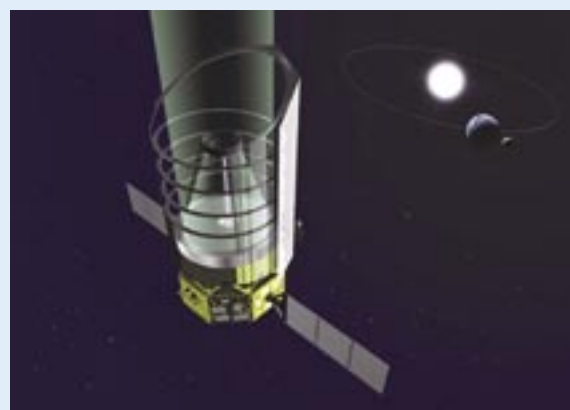
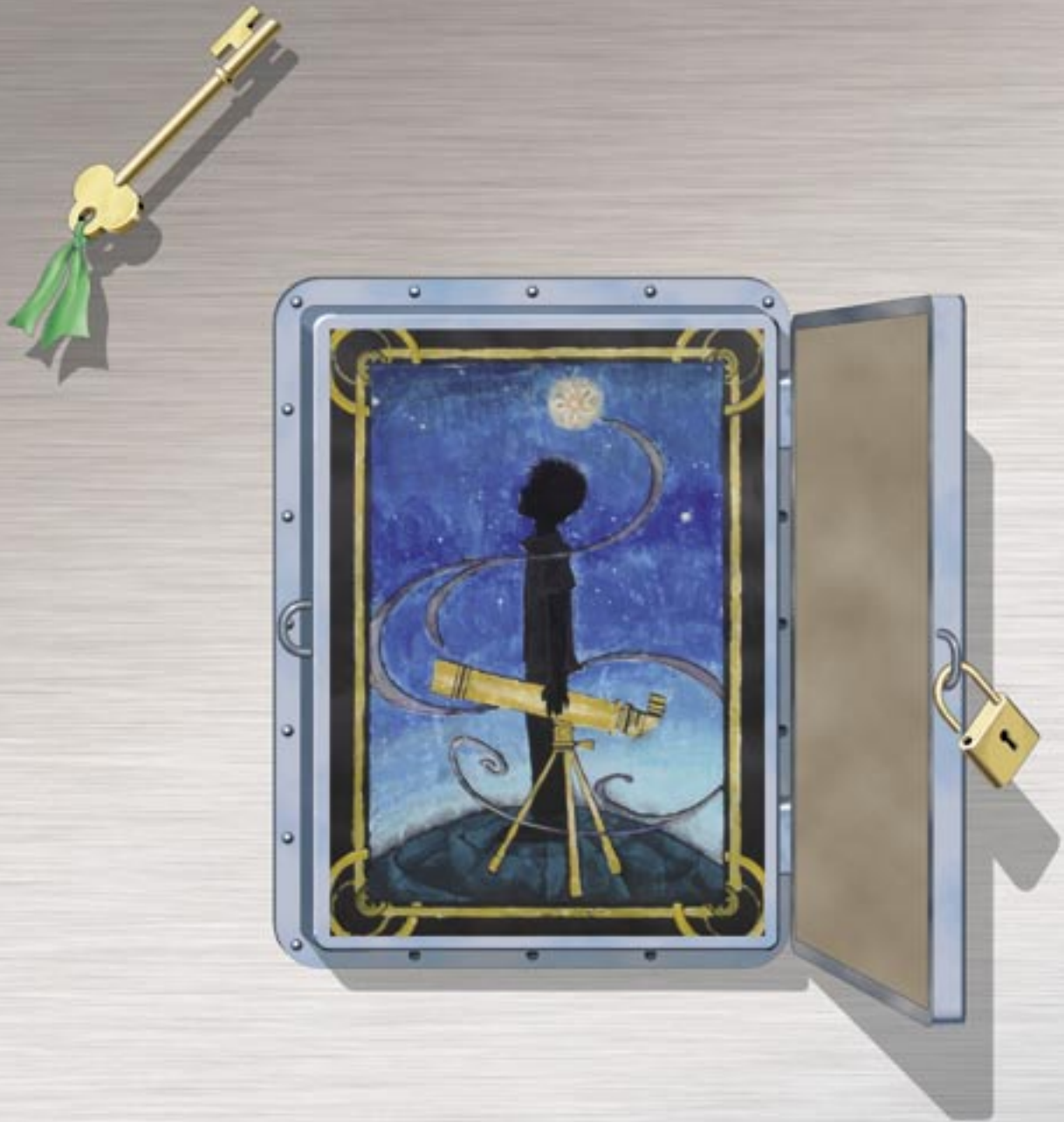


図5 軌道上の SPICA (スピカ) 衛星 (想像図、JAXA 提供)。



主催：(社) 日本天文学会

後援：岐阜県教育委員会
岐阜市教育委員会
岐阜県高等学校理化・地学教育研究会
中日新聞社
NHK 岐阜放送局
岐阜天文台

協力：岐阜市科学館

●ホームページ：<http://www.made.gifu-u.ac.jp/~vlbi/kokai.html>

●お問い合わせ：岐阜大学工学部 高羽 浩 TEL 058-293-2478