

アルマー ALMAR 冒険の

第02回 「光で見る・電波で見る」

02回は、「宇宙を見ること」について、01回プロローグ編の復習を兼ねて解説します。「目(可視光)で見る宇宙」と「電波望遠鏡(電波)で見る宇宙」の共通点と違いを比べながら「見る」ことのしくみを考えてみましょう。

●「アルマーの冒険」制作ユニット
絵 / 藤井龍二 (FUJII Ryuji)
文 / 平松正顕 (HIRAMATSU Masaaki)
構成 / 高田裕行 (TAKATA Hiroyuki)
デザイン / 久保麻紀 (KUBO Maki)



千里奈央
(せんり・なお)

蒼天高校の2年生。星空や宇宙が大好き。将来の夢は天文学者になること。天文部の春合宿中に、ひょんなことから「アルマー」や「いざよい」と出会い、ともに電波宇宙の危機を救うとされる「グランドアルマーの宝剣」を探す冒険の旅に出る。



アルマー
(ALMAR)

電波宇宙から可視光宇宙へやってきたこどもの竜。電波宇宙に危機をもたらす謎の妨害電波「ジャミングー」を浴びて意識が遠のくが、そこに9つの頭をもつ巨大な竜が現れて「電波宇宙を守るために、グランドアルマーの宝剣を探せ」と告げられ、気がつくや野辺山高原の草むらに倒れていた。

いざよい
(十六夜)

奈央とアルマーの前に現れた謎のメスネコ。可視光と電波の世界を見わける特殊能力の持ち主。電波宇宙や可視光宇宙について豊富な知識を持ち合わせている。どうやら、アルマーの過去を知り、電波宇宙の危機の原因やグランドアルマーの宝剣のありかを知っているようなのだが……。



★前号・第01回プロローグ「電波宇宙からの使者」のあらすじ

星空観望のメッカ、長野県・野辺山高原にゴールデン・ウィークの連休を利用して合宿にやってきた蒼天高校の天文部メンバー。昼間、国立天文台野辺山電波観測所を訪れて電波望遠鏡を見学。日が暮れるとそこは満天の星空…。先に外に飛び出した部員の千里奈央が星空を見ていると、流れ星が落ちて「電波宇宙からやってきた」というこどもの竜が現れた。その名は「アルマー」。さらに、物知りの謎の猫「いざよい」も現れて……。

<p>アルマー、あなたは電波宇宙から可視光宇宙世界に飛ばされたのよ</p> <p>ええ？</p>	<p>ジャミングーと戦っていたことは覚えてるけど……</p>	<p>ここは可視光宇宙だって!?</p>
<p>飛ばされたとき、電波眼パワーを失ったのよ</p>	<p>どうりで空が暗く見えるわけだ</p>	<p>可視光とか電波って昼間に少し勉強したけどどうなってるの？</p>
<p>可視光で見る宇宙と電波で見る宇宙の姿はまったく違うのよ</p>		

第2-1章 アンテナの先が光ってる！

「いざよい」のしっぽをつかんで携帯電話基地局のアンテナを見ると、そこには……。

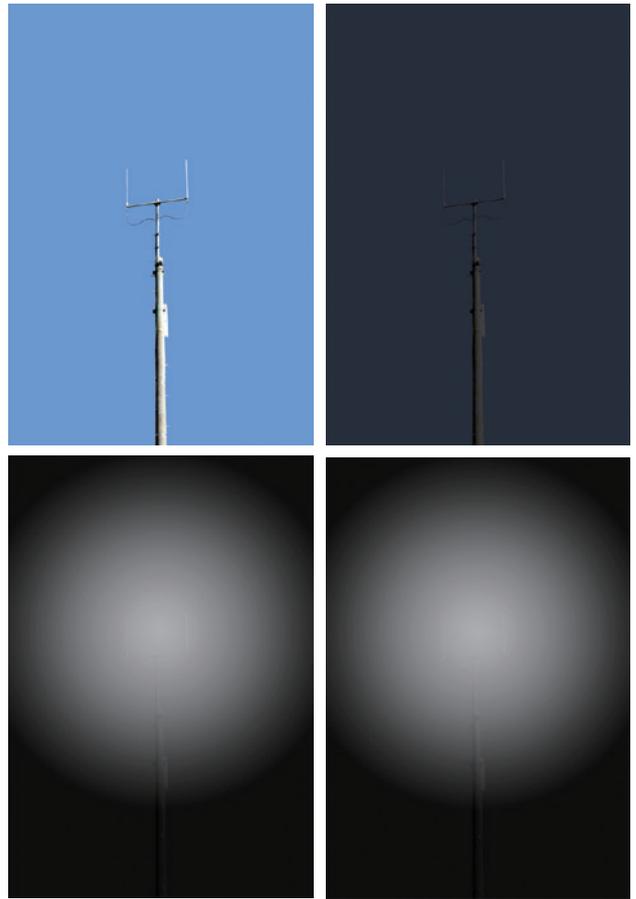


「電波で宇宙を見る」ことのしくみー電磁波の方向と強さを測るー

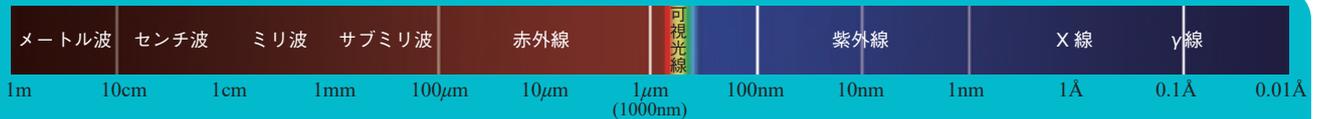
「電波で宇宙を観測する」「電波で天体の写真を撮る」ということを考える準備として、私たちは目の前の景色をどのようにして認識しているのか、ということから考えてみましょう。右の写真のような電波塔やこの「アルマーの冒険」の冊子を私たちが見ることができるのは、太陽光や照明器具から出る光が対象物に反射して、私たちの目に届くからです。この光は、目の奥にある網膜の視覚細胞によって電気信号に変換され、神経を通過して脳に届きます。こうして私たちは、「物が見える」と認識するわけです。入ってくる光が多ければ「明るい」と感じ、少なければ「暗い」と感じます。また、どんな波長の光が強く届くかによって「色」の感じ方が決まります。

私たちの目には電波も入ってきているはずですが、視覚細胞はそれをとらえて電気信号に変えることができません。このため、私たちは電波を「見る」ことができないのです。そのかわり人間は電波を検出する装置を作ることができます。その装置を使えば、どの方向からどれくらいの強さの電波が来ているかがわかります。例えば、携帯電話やその基地局、東京タワーの先端部などは電波を強く出しているはずですが、可視光の場合と同じ言葉を使えば、これらの物体は「(電波で) 明るい」ということができます。どの方向からどんな強さの電波が来ているかを調べて絵にしてやれば、「電波写真」を作ることでもできます。

これはもちろん、電波に限った話ではありません。目には見えないX線でも紫外線でも赤外線でもニュートリノでも同じ。それぞれに適した観測装置を作って「どの方向からどれだけの強さの電磁波(あるいは粒子)が来ているか」を調べてやることで、どんな天体がどんな電磁波(あるいは粒子)を出しているか、調べることができます。天文学者はこのようにいろいろな装置を作り出すことによって、人間の目だけでは感知できない宇宙のいろいろな姿を見ることを可能にしてきたのです。



可視光で見た携帯電話基地局アンテナ(左上:昼、右上:夜)と、電波で見た携帯電話基地局アンテナ(左下:昼、右下:夜/イメージ図)。可視光では昼はアンテナを見ることができますが、夜は太陽光がないので見えません。一方でもし電波が見えるとしたら、電波を放射しているアンテナは昼夜問わず「輝いて」見えるはずですが。



●人間の目、モンシロチョウの目、ETの目？

人間の目が感じ取ることのできる電磁波の波長は、およそ400～800nm。これは、太陽が放つ電磁波のうちでもっとも強い波長域に重なります。また紫外線はエネルギーが高いため細胞にダメージを与えますし、赤外線は水分子を振動させて熱を生じます。人間の目が紫外線と赤外線のあいだの波長帯を感じるように進化してきたのは、決して偶然ではないのです。しかし、可視光の両側の波長がどこまで見えるかは、生物種によるようです。例えばモンシロチョウは、紫外線を当ててやるとオスとメスで羽の明るさが大きく違います(右のイラスト)。これは、モンシロチョウが紫外線を見ることができ、これでオスとメスを見分けているのだらうと考えられています。

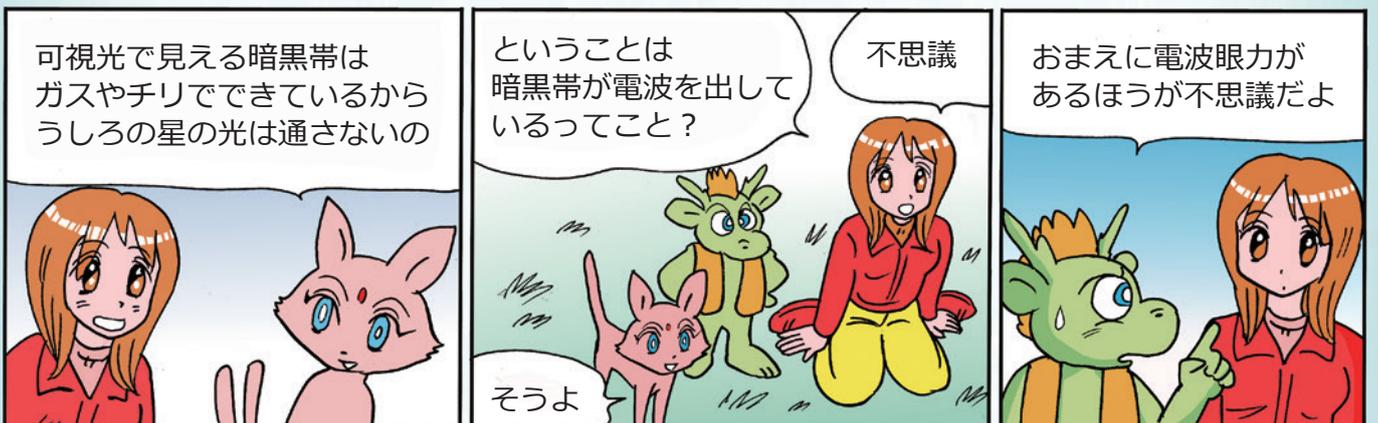
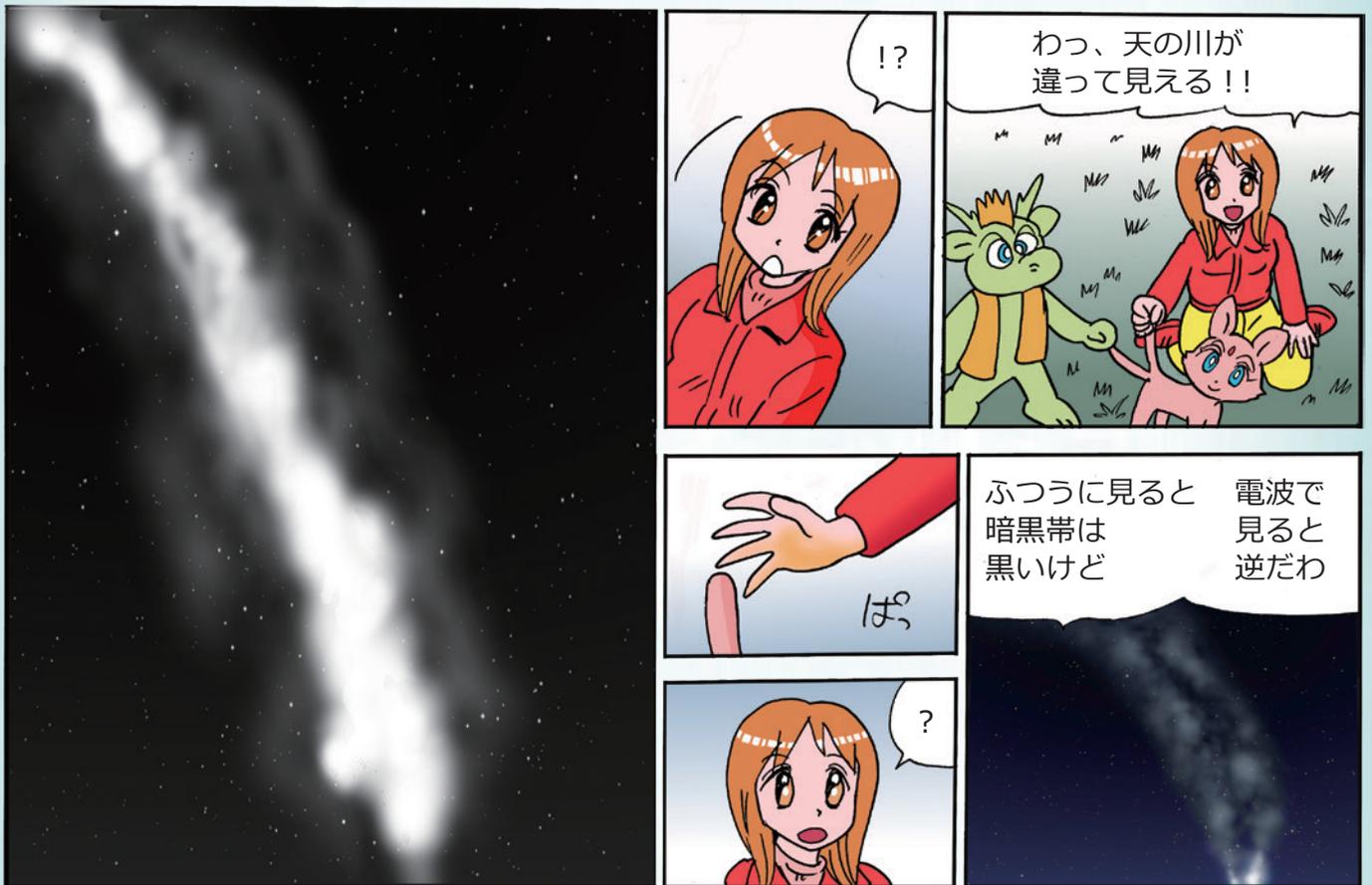
では、たとえば太陽の温度がもっと低く可視光よりも赤外線が強かったら、地球に生きる生物の目はどの波長の電磁波に感度があったでしょうか。逆に太陽がもっと高温で紫外線がもっと強かったら、どうだったでしょうか。太陽系外惑星にいないかもしれない生命体がどんな感覚器官をもっているのかについて考えるときにも、やはり中心星がどの波長の電磁波を強く出しているかを考えることが大切になってきます。



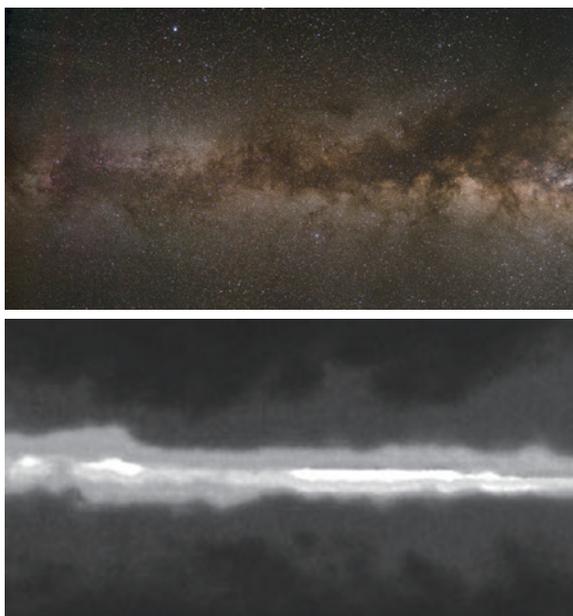
上は、電磁波の波長図。μmはマイクロメートル。nmはナノメートル。可視光の波長域はごく狭いことがわかります。サブミリ波より波長の長い電磁波が電波です。人間と違って紫外線が見えると考えられるモンシロチョウは、より短い波長を見ていることとなります。

第2-2章 天の川の明暗が逆に見えた！

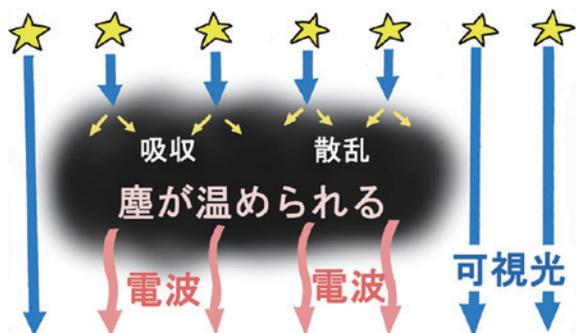
「可視光で見る天の川」の姿と「電波で見る天の川」の姿が違って見えるのは、なぜ？



光を遮ったり電波を発したりする天の川—電波は低温の星間物質から放たれる—



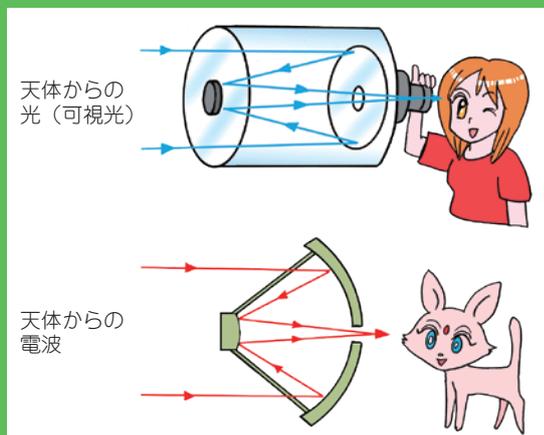
光で見た天の川(上)と電波で見た天の川(中)。光で見た天の川では、黒い筋状の部分(暗黒帯)が天の川の光を遮っているようですがわかります。電波で見ると、暗黒帯が逆に明るく見えています(上画像:長谷川哲夫/下画像:NRAO)。下はその概念図です。



左の図は、可視光で見た天の川の一部(上)と、電波(水素原子が放射する波長21cmの電波)で見た天の川(中)です。可視光の写真では真ん中に黒い筋が横に走っていますが、電波ではその部分が電波が強く、画像では白く写し出されています。天の川は渦巻銀河を中から見た姿ですが、その渦巻銀河は中心部に星の大集団(バルジ)があり、その周りに星と星間物質(ガスと塵)の渦巻円盤がとりまいています。可視光で暗く、電波で明るく輝いている部分は、この渦巻円盤に含まれる星間物質が分布している部分です。星間物質の中でも大きさ数マイクロメートルの塵は可視光をよく散乱・吸収します。このため星々の手前に星間物質が分布していると、後ろからやってきた星の光が吸収・散乱されてしまっていて黒い帯のように見えます。これを暗黒帯と呼びます。一方で、星の光を吸収した塵の粒やその周りには吸収したエネルギーの分だけ温まります。とはいえ温度の低いところでは -260°C (絶対温度10K)程度でしかありません。これほど温度が低いと可視光を出すことができませんが、電波を出すことはできます。一般に波長の短い電磁波を出すためには高いエネルギーが必要ですが、波長の長い電磁波であれば低いエネルギーでも出すことができます。太陽は約 6000°C と十分に高温なので可視光を出すことができますが、 -260°C の星間物質は可視光を出すことができません。しかし波長の長い電波を出すことはできるのです。これが、同じ位置を撮影した可視光と電波の画像の明暗が逆になっていること(左下図)の理由です。

また星間ガスに含まれるさまざまな分子は、それぞれに特有の周波数で電波を出すことが知られています。ちょうどラジオの周波数が局によって異なるようなものです。地球上の実験室で測ったある分子が出す周波数と、天体から来ている電波の周波数がぴったり一致すれば、その分子がその観測天体に含まれているということがわかります。これまで宇宙には150を超える種類の分子が見つかっています。また低温で低密度な宇宙環境だからこそ存在できる珍しい分子もあり、どの分子から来ているのかわからない電波も何種類もあります。宇宙からやってくる電波をとらえることで、対象天体の成分分析をすることができるのです。

●光学反射型望遠鏡も電波望遠鏡も原理は同じ



上の写真左は小型の光学反射型望遠鏡(鏡の直径21cm)、右は電波望遠鏡です(アンテナの直径12m)。大きさはずいぶん違いますが、解説イラストのように光や電波を「鏡」で反射させてたくさん集めるしくみは同じです。

望遠鏡の大きな役割の一つは、遠方の天体からやってくる微弱な電磁波を出来るだけたくさん集めることです。この能力のことを集光力と言いますが、大きな望遠鏡ほど高い性能を実現することができます。この点においては、光の望遠鏡も電波望遠鏡も同じです。電波を集める装置としてなじみ深いのは、衛星放送を見るときのパラボラアンテナでしょう。人工衛星が発する電波は強いので、家庭用のアンテナはせいぜい数十cmの大きさですが、電波望遠鏡は10mを超えるものも多くあります。

左の光路図をみると、反射型光学望遠鏡も電波望遠鏡(パラボラアンテナ)も、同じ放物面鏡(パラボラ面)で光や電波を反射することでより多くの光(電波)を集める仕組みになっています。また大きなパラボラアンテナを1枚の板で作るのは難しいので、何枚ものパネルを並べて大きなパラボラ面を構成することがあります。たとえばアルマ望遠鏡12mアンテナでは、およそ1m四方のアルミパネルを205枚並べていますし、野辺山45m電波望遠鏡には600枚のパネルが使われています。すばる望遠鏡の鏡は直径8.2mの一枚鏡ですが、最近の大口径光学望遠鏡ではたくさんの鏡を並べて大きな鏡とする手法も使われていて、ハワイに建設が計画されている直径30mのTMTでは、1.4mの鏡が492枚使われる予定です。

第2-3章 光と電波をいっしょに見ると…

夜が明けてよく見えてきたアンテナ。もう一度「いざよい」のしっぽを握ると……。



「見る」ためには波長の違いに注目—反射式望遠鏡の原理と「鏡」の精度について—

光の望遠鏡は外から入ってくる邪魔な光をさえぎるために筒やドームに入っていますが、電波望遠鏡の場合はパラボラ面が外から見える場合が多いため、一見すると違う構造に見えます。しかし「鏡で光や電波を集め、焦点に導く」のが望遠鏡の基本的な役割で、電波望遠鏡と光の望遠鏡（反射式）が同じ構造をしているということは先に説明しました。

もちろん、光の望遠鏡と電波望遠鏡で異なることはいくつかあります。最も違いが大きいのは、鏡面の精度でしょう。鏡できちんと電磁波を反射するには、鏡面の凹凸が電磁波の波長よりも十分に小さい（波長の5～10%以下）必要があります。例えば、可視光と赤外線を観測することができるすばる望遠鏡の場合、観測できる最も短い波長は370nm（1nmは10億分の1m）であり、鏡面精度は12nmです。これに対してアルマ望遠鏡の場合は、観測できる最短の波長が320 μ m（1 μ mは100万分の1m）、鏡面精度は25 μ mです。すばる望遠鏡とアルマ望遠鏡では観測波長が1000倍ほど違うので、鏡面精度も1000倍くらい異なっています。さらにもっと波長の長い電波、たとえば水素原子が出す波長21cmの電波を検出するためには、鏡面に1cm程度の凹凸（あるいは「穴」）があっても問題ないこととなります。実際に波長の長い電波を観測する電波望遠鏡は、鏡面が小さな穴がたくさん開いた金網状になっているものもあります。人間の目にはとても鏡には見えないのですが、波長の長い電波にとっては波長よりも十分小さな穴があっても関係なく、金網も立派な鏡になっているわけです（図1）。

ということで、同じ観測対象でも、波長によって見え方が変わってくることがわかりました。まんがの「いざよい」のように可視光と電波の二つの眼（「可視眼」と「電波眼」）を持っていれば、昼間の携帯電話基地局アンテナは、イメージ写真のように見えることとなります（図2）。

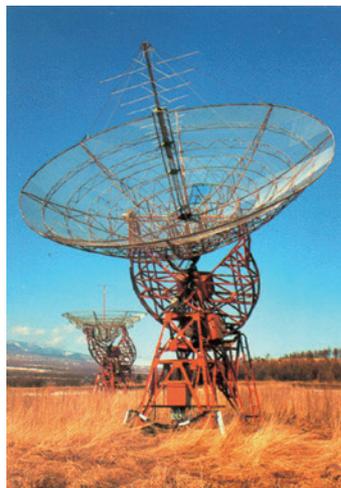


図1 野辺山電波観測所で、1994年まで太陽電波の観測に使われていた「野辺山70-600MHz動スペクトル計」の写真です。波長の長い電波観測用なので、パラボラアンテナの鏡面は金網で、向こう側の青空が透けて見えています。銀河の暗黒帯の見え方は異なり、可視光は通すのに、（波長の長い）電波は反射して通さないという一例です。



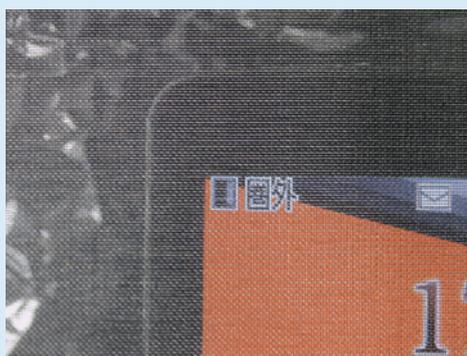
図2 可視光と電波の両方で見た昼間の携帯電話基地局アンテナの見え方。可視光で見たアンテナと電波で見たアンテナの画像を合成したもの（イメージ図）。可視光だけで見たときにはわからなかった「電波源としてのアンテナ」の存在も、電波だけで見たときにはわからなかった「青い空」も、両方を見ることができ、3ページの見え方とくらべてみましょう。いろいろな波長でモノを見た時に、より包括的な情報を得ることができる、という一例です。

実験その01

携帯電話を「圏外」にしてみよう！

身近なもので電波を発する／受信するものといえば、携帯電話でしょうか。波長は通信会社によって異なりますが、15～35cm（周波数では800MHz～2GHz）の電波が使われています。漫画にも出てきたような基地局アンテナが街中にもたくさん立っていますので、見たことのある方もいらっしゃるでしょう。基地局から遠くなったり、頑丈な建物の中央部に入ったりすると携帯電話まで電波が届かなくなり、いわゆる「圏外」の状態になってしまいます。

電波を遮ることができれば、この「圏外」状態は簡単に作り出せます。例えば、金網やアルミの袋で携帯電話を包んでやると、「圏外」になります。これは基地局からの電波が金網やアルミ袋で反射されてしまって携帯電話に届いていないということです。金網のパラボラアンテナと同じで、人間の目には穴だけに見えても電波は通り抜けられないのです。



広げたアルミホイルの上に携帯電話を置き、その上に網目の大きさが0.1mm程度のきめの細かいステンレスの金網かけ、四辺をアルミホイルをでしっかり密閉すると、圏外になりました。光は通しているのに、電波は遮られていることがわかります。ステンレスの金網はホームセンターなどで入手できます。

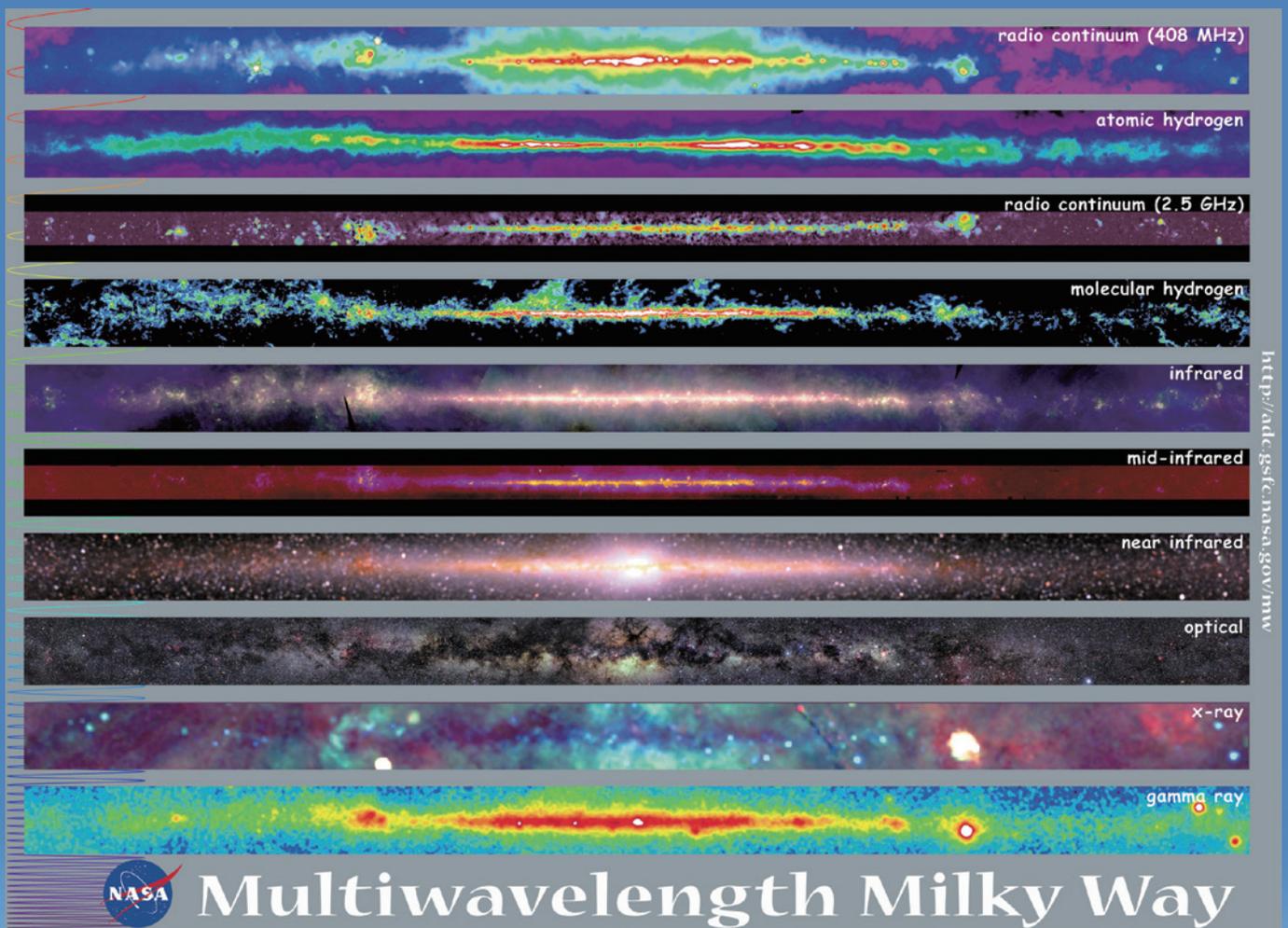




…そして、宇宙を見る目は「可視眼」や「電波眼」だけじゃないのよ。

アルマーの冒険では、主に電波で見る宇宙についてご紹介します。とはいえ、宇宙からやってきているのは電波と可視光だけではありません。赤外線、紫外線、X線、ガンマ線、ニュートリノ、ひょっとしたら重力波も。可視光と電波では見える宇宙の姿が異なるように、他の波長の電磁波や粒子で宇宙を観測するとそれぞれ特徴的な姿が見えてきます。下の図は、様々な波長の電磁波で観測した天の川。それぞれの画像の中央が天の川のもので、下から3番目がなじみ深い可視光の画像です。これと他の波長の画像を比べてみてください。例えば、一番下の2画像（X線とガンマ線）では、図の右側に明るい天体があります。これは、

ほ座の超新星残骸。数千万度という超高温ガスが放射するX線や電子と光子が衝突した時に放射されるガンマ線が強く出ているのです。可視光や赤外線ではこの天体は見えませんが、2.5 GHzと408 MHzの電波ではこの位置が明るく見えています。この電波を詳しく分析すると、超新星残骸の中の磁力線の様子がわかります。このように、同じ天体をいろいろな波長で観測することによって、その天体の中で起きている、さまざまな物理現象を読み解くことができます。人間の眼ではキャッチできない情報を捉えるいろいろな望遠鏡を作ることで、人類は宇宙への窓を大きく開いたのです。



アルマ望遠鏡

検索



●お問い合わせ

平松正顕 (ALMA 推進室) hiramatsu.masaaki@nao.ac.jp

高田裕行 (天文情報センター出版室) hiroyuki.takata@nao.ac.jp

「アルマーの冒険」02回

発行日 / 2012年3月1日

発行 / 国立天文台天文情報センター出版室

制作協力 / 国立天文台 ALMA 推進室

© 2012NAOJ (本冊子記事の無断転載・放送を禁じます)

初期科学観測が始まった22台のアルマのアンテナ。

画像: ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)

