


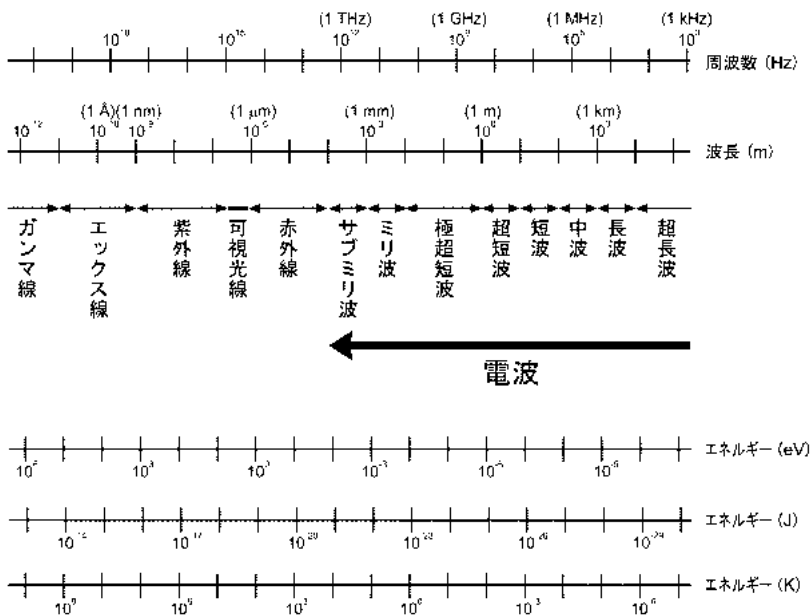
電 波



50のなぜ

制 作

名古屋大学太陽地球環境研究所
りくべつ宇宙地球科学館
豊川市ジオスペース館



これは、電磁波の種類（電波や光）を表わした図です。周波数、波長、光子（光の粒）1個の持つエネルギー（eV: 電子ボルト、J: ジュール、K: 絶対温度）の関係も示しています。

電磁波は波ですから、山と谷があります。波の山と山（谷と谷）の間隔の長さを「波長」と呼び、1秒間に進む波の数を「周波数」または「振動数」といいます。電磁波の速さは、種類にかかわらず、1秒間に30万キロメートル（光速）です。つまり、「波長」と「周波数」の間には、

$$\text{「波長」} \times \text{「周波数」} = \text{「30万キロメートル/秒」}$$

という関係が成り立ちます。波長が長いほど周波数は小さく（＝低く）なり、また、波の持つエネルギーが小さくなります。上の図では、右方向にいくほど波長が長い（＝周波数が低い）電磁波です。

電磁波は、“光の粒”としての性質も持っています。電磁波を粒として見た場合、光子1個のエネルギーは周波数に比例して強くなります。

(((も く じ)))

電波の性質



- 1 . 電波ってなに？
- 2 . 電波と電気の関係は？
- 3 . 電波はどんな「波」？
- 4 . なぜ電波は見えないの？
- 5 . 見えない電波をどうやって見つけた？
- 6 . 電波を分類すると？
- 7 . 「周波数」ってなに？
- 8 . 電波の強さはどのように表わす？
- 9 . 人間からも電波が出る？
- 10 . 毒電波はほんとうにある？
- 11 . 電波を受信する方法は？
- 12 . どうすれば電波を出すことができる？
- 13 . 自分で電波を出しても良いの？
- 14 . 宇宙には空気がないのに電波が伝わるのはなぜ？
- 15 . 遠く離れた国のラジオ放送が聞こえるのはなぜ？
- 16 . BS アンテナはなぜお椀型？
- 17 . 大雨のとき BS 放送が見えにくいのはなぜ？

電波の利用



- 18 . 生活のなかで電波はどのように利用されている？
- 19 . テレビで絵が出るのはなぜ？
- 20 . 地上デジタル放送とこれまでのテレビ放送の電波は違う？
- 21 . 携帯電話で声が電波として相手に伝わるのはなぜ？
- 22 . 携帯電話のアンテナは1つなのになぜ電波の送受信を同時にできるの？
- 23 . 携帯電話とPHSはなにが違う？
- 24 . 携帯電話のアンテナが折れたのになぜ通話できるの？
- 25 . テレビとラジオと携帯電話で電波に違いはある？
- 26 . 飛行機の場所や車のスピードがレーダーでわかるのはなぜ？
- 27 . 電子レンジは電波を使っている？
- 28 . 電子レンジの中の電波が外に出てこないのはなぜ？
- 29 . IHクッキングヒーターなどの電磁調理器も電波を使っている？
- 30 . GPSで自分の位置がわかるのはなぜ？
- 31 . GPSにはアインシュタインの相対性理論が使われている？
- 32 . 無線LANはどうやってインターネットにつなぐことができる？
- 33 . 電波で病気を診断する装置がある？
- 34 . 携帯電話の電波は健康に悪い？
- 35 . 送電線の近くにいると健康に悪い？

電波と

太陽地球系科学

36. 雷が鳴るとラジオに雑音が入るのはなぜ？
37. 電離圏ってどんなもの？
38. どうして電離圏で電波は反射するの？
39. 電波を使った電離圏の観測って？
40. オーロラから電波が出ている？
41. 地震と電波とは関係がある？
42. 電波でオゾン層を観測する方法とは？
43. 宇宙からも電波はくる？
44. 太陽からやってくる電波とは？
45. 太陽活動と電波とは関連がある？
46. 電波で太陽風を観測する？
47. 電波で宇宙のガスを観測できる？
48. 電波でブラックホールが見つかる？
49. VLBI を使ってなにが観測できる？
50. 電波を使って地球外生命の探査をする？



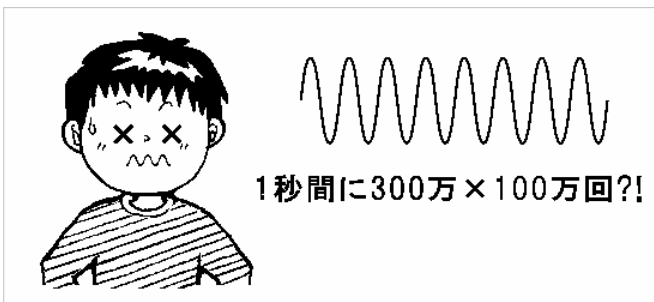
電波って電気の波？

(((1))) 電波ってなに？

「電波」と聞いて、みなさんはなにを思い浮かべますか？ ぶだんの生活では、たとえば「携帯電話の電波が届かない」というように、電波の「状態」を表わすときに「電波」という言葉を使うことがありますね。でも、「そもそも電波ってなんなのか、説明してください」といわれると、少し困ってしまうのではないのでしょうか。

電波とは電磁波と呼ばれるものの一部分で、「光」の仲間。電磁波は、電気と磁場の強さが時間とともに刻々と変化するものをいいます。電磁波のなかで、時間的な変化が比較的ゆっくり起こるものを特に「電波」と呼んでいます。

ちなみに、電波法という法律では、「電波とは300万メガヘルツ以下の周波数の電磁波をいう」と定義されています。なんだか、わかったようなわからないような、不思議な決まりですね。ヘルツ(Hz)というのは1秒間に1周期変動することですから、300万メガヘルツ(MHz：メガは100万倍、つまり1000000ヘルツのこと)というのは、とても「ゆっくり」とはいえないかもしれませんが、電磁波のなかで、電波は「ゆっくり」の部類なのです(6参照)。



(((2))) 電波と電気の関係は？



私たちの生活に電波がとても役立っていることは、みなさんも実感していると思います。しかし、日常生活で電波を直接感じることは、なかなかありません。それに比べて、電気を感じる機会は、意外に多いのではないのでしょうか。

みなさんの知っている電気は、乾電池に代表されるようにプラスとマイナスがあって、その間を金属の線でつなぐとプラスからマイナスに電気が流れる、という感じではありませんか？ それから、空気が乾いている冬、金属にふれただけでパチパチと火花が飛んで痛い目にあうのは静電気のせいですが、これもりっぱな電気。

ふだんの会話では、電気製品に使われる電気エネルギーのことを単に電気と呼び、「電気がなくなった」というふうにもいいますね。

さて電波は、電気が波のように時間的に変化している様子のことです。たとえば、プラスとマイナスが1秒間に50回もしくは60回切り替わる家庭用電源を使うと、電波が出ます。電波と電気は、密接な関係があるということです。

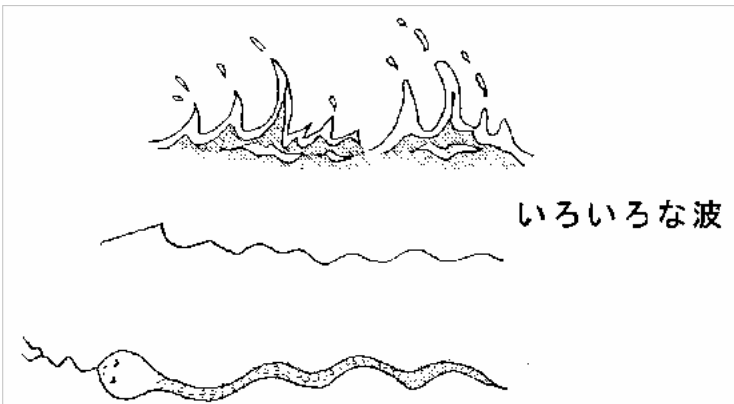
(((3))) 電波はどんな「波」？

電気が波のように強くなったり弱くなったり変化するところから、電波は「波」という言葉で表わすようになったのです。

「波」と聞くと、たいていの人は、海の波を思い浮かべるのではないのでしょうか。海面のある部分は盛り上がり、別の部分は谷のように低くなっていて、時間がたつにつれ、盛り上がっている場所や谷になっている場所がどんどん移動していき、最後に岸に打ち寄せては引いていく... そんな情景が目には浮かぶことと思います。

それでは、海面が盛り上がったたり、逆に谷になったりしている場所を、それぞれ電気の強い場所、弱い場所と考えてみて下さい。どうです、電波を「波」としてイメージできましたか？

おもしろいことに、電波は英語だと“radio wave”で、やはり「波(wave)」という言葉が使われています。この「波」の性質を持つことこそが、電波の特徴を最もよく表わしているのです。

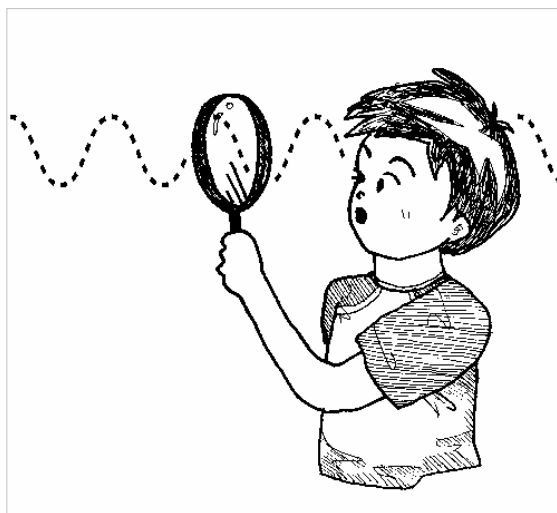


(((4))) なぜ電波は見えないの？

電波は光と同じ性質を持っているのですが、目で見えることはできません。なぜでしょうか？

それは、人間の眼が光を感じる仕組みに、理由があります。人間の眼に可視光という波長域の電磁波があたると、光のエネルギーにより化学反応が起こって神経が刺激され、その刺激が脳に伝わり、光を感じるができます。ところが、電波のエネルギーは可視光よりもエネルギーが小さいため、人間の眼では化学反応を起こすことができず、光として感じる事ができないのです。

ちなみに、どれくらいエネルギーが小さいかというと、たとえば、テレビ放送で使っている電波のエネルギーは、可視光のエネルギーのおよそ 1000 万分の 1 程度しかありません。

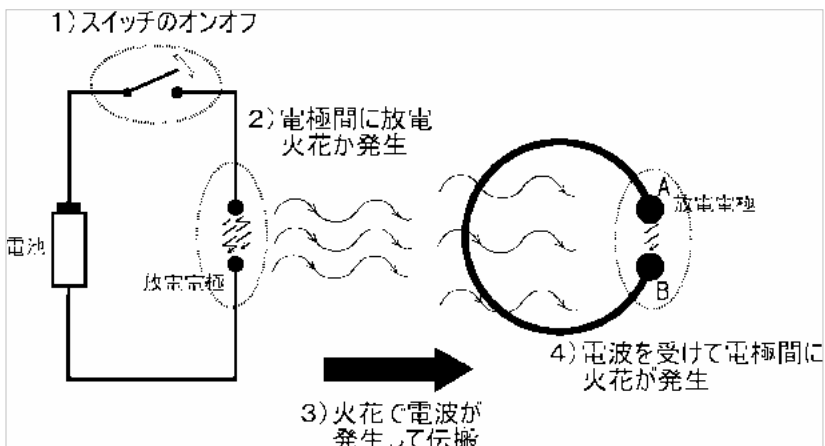


(((5))) 見えない電波をどうやって見つけた？

電波は 1888 年、ドイツの物理学者ヘルツが行った実験によって発見されました。ヘルツは、イギリスの物理学者マクスウェルが導き出した、電気と磁気に関する理論（マクスウェルの方程式といわれています）を実験によって検証することに成功し、電波の存在を世に示したのです。

ヘルツの行った実験は、銀箔を貼ったガラス瓶に電気をためたのち、放電させて電波を発生させ、端っこがつながっていない（下図の AB 間）輪状の導線にその電波をあてると、導線に電流が流れて AB 間で放電が起こるといったものでした。

「空气中を伝搬する電波が電流によって作られ、さらにその電波から電流を作ることができる」ことを実験的に示したのです。ヘルツの実験から約 120 年がたち、電波は日常生活に欠くことのできないものになっています。



(((6))) 電波を分類すると？

ひと言で電波といっても、テレビやラジオ、携帯電話など、使われかたもさまざまです。電波の「波」の性質である「周波数」(7参照)によって、電波が分類されています。

日本では電波法によって、周波数の低いほうから順番に、「超長波(VLF)」、「長波(LF)」、「中波(MF)」、「短波(HF)」、「超短波(VHF)」、「極超短波(UHF)」という名前が付けられています。ラジオでは中波、テレビでは超短波と極超短波、携帯電話では極超短波が使われています。

慣用の名称	周波数	波長
超長波 V L F (very low frequency)	3 kHz ~ 30 kHz	100 km ~ 10 km
長波 L F (low frequency)	30 kHz ~ 300 kHz	10 km ~ 1 km
中波 M F (medium frequency)	300 kHz ~ 3 MHz	1 km ~ 100 m
短波 H F (High frequency)	3 MHz ~ 30 MHz	100 m ~ 10 m
超短波 V H F (very high frequency)	30 MHz ~ 300 MHz	10 m ~ 1 m
極超短波 U H F (ultra High frequency)	300 MHz ~ 3 GHz	1 m ~ 10 cm
マイクロ波 S H F (super high frequency)	3 GHz ~ 30 GHz	10 cm ~ 1 cm

(((7))) 「周波数」ってなに？

電波の「波」を正確に表わそうとすると、「波」としての特徴を示す2つの要素を、数字で記述する必要があります。その要素の1つが「周波数」。

周波数というのは、1秒間に「波」が何個やってくるかを表わす量で、単位は「ヘルツ(Hz)」です。1秒間に波がたくさんやってくるときには周波数が高いといい、逆のときには周波数が低いといいます。

電波と同じように波の性質を持つ、「音(音波)」で考えてみましょう。周波数が高いというのは「音色が高い」音(高音)になり、周波数が低いというのは低音になります。このように、周波数によって、波の特徴の一部を表わすことができるのです。電波の場合も同様です。異なる周波数の電波は、生活のなかでの使われ方が異なります。たとえば、AMラジオでは1MHzの周波数の電波を使い、テレビではおよそ100MHzまたは400MHzの周波数の電波を使っています。携帯電話で使われるのは、約800MHzの電波です。



(((8))) 電波の強さはどのように表わす？

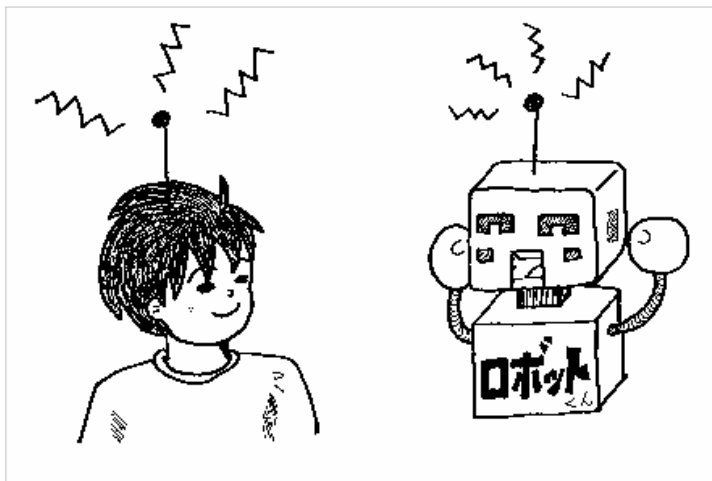
電波の「波」を正確に表わすのに必要なもう1つの要素は、波の「強さ」です。波の「強さ」というのは、簡単にいうと波の高さに相当します。たとえば、海の波を考えてみましょう。津波のように背の高い波は、とても大きなエネルギーを持っていて、ひとたび襲われると壊滅的な被害になります。

電波の場合、波の「強さ」を表わす単位はワット(W)です。電化製品に書かれているあの「ワット」が、電波の強さを表わすのにも使われます。つまり、電波が強いときには大きなワット数、微弱なときには小さなワット数になります。

「周波数」と「強さ」で電波の特徴を表しているのを、みなさんは実際に聞いたことがありますか？ テレビやラジオの放送でときどき、「放送出力 キロワット、周波数 ヘルツ」といっていますね。これは、放送している電波の「周波数」と「強さ」という特徴を知らせているのです。



(((9))) 人間からも電波が出る？



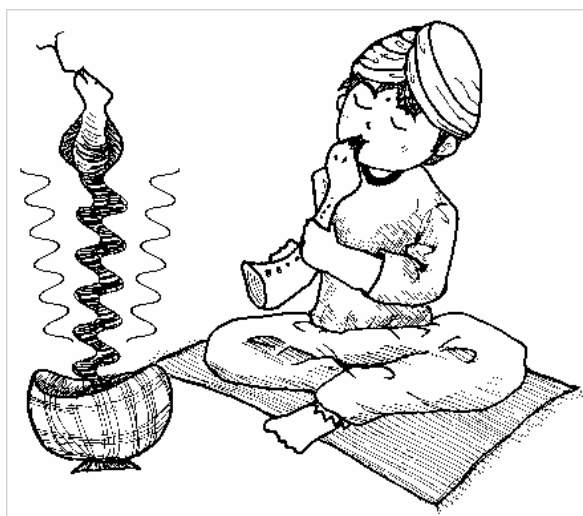
人間にはアンテナはついていませんし、だいたい「自分はいつも電波を出している」と思っている人は、まずいないでしょう。じゃあ、そんなのはあり得ない話なのかといえば、実は人間からも電波が出ているのです！

人体から出ている電波は熱放射と呼ばれるもので、体温が関係しています。人体からは、電波だけでなく赤外線も出ていて、サーモグラフという赤外線カメラで人間を撮ると、暗闇でもはっきりと写るのはそのためです。同じように、感度の良い電波受信器の前に手をかざすと、手からの電波を受けることができます。もちろん、その強さは非常に弱いものですが。

(((10))) 毒電波はほんとうにある？

人間が狂気に陥っているさまや、陥る原因を表わすのに、「毒電波を浴びた」とか「毒電波を受信した」という表現を使うことがありますね。電波は目では見ることができないのに、さまざまな物に情報を伝えたりすることから、連想されたのだと思われます。ゲームやアニメなどで使われたのが始まりという話もあります。

もちろん、電波自体には薬品のような毒性はありませんし、毒電波というものも存在しません。どうぞご安心を。

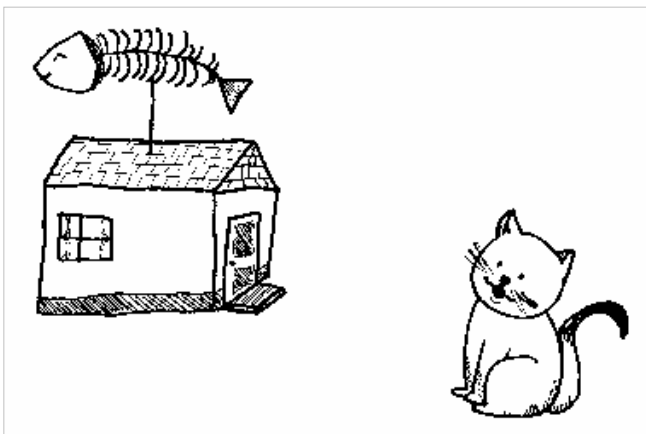


(((11))) 電波を受信する方法は？

みなさんご存じのように、電波を受信するためにはアンテナが必要です。アンテナの役割は、「電波を集める」、「空中の電磁波を、テレビや携帯電話などの機械の中で流れる電気信号に変える」こと。

このような働きをするアンテナには、さまざまな形のものがあります。ふつうにテレビを見るのに使う、魚の骨のような形をしたものは「八木アンテナ」と呼ばれています。八木アンテナ（正確には八木・宇田アンテナ）は、大正時代に東北大学の八木秀次、宇田新太郎の両博士によって開発され、現在世界中で広く使われています。BS放送を受信するのに使うお椀型のアンテナは、「パラボラアンテナ」。携帯電話の端っこのほうについている、伸縮するアンテナは「ホイップアンテナ」。

電波の周波数や用途に応じて、形や大きさの異なる、さまざまな種類のアンテナが使われています。アンテナで受信した電波が電気信号になり、それがテレビやラジオの本体に送られて、映像や音声になるのです。



(((12))) どうすれば電波を出すことができる？

電波を出すときにもアンテナが必要です。出したい電波と同じ電気信号を作り出す発信器と、作られた電気信号を電磁波に変えるアンテナが必要なのです。

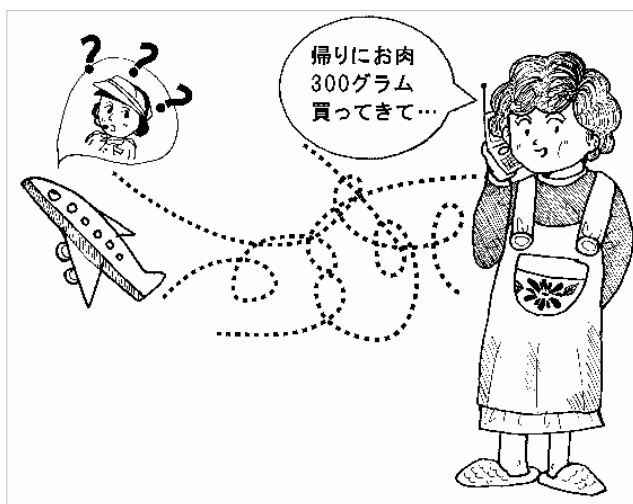
アンテナは、出したい電波の周波数と、出したい方向によって、大きさや形状を選ぶことになります。ほとんどの場合、電波を出すためのアンテナは、受信するときに使うアンテナを、そのまま使うことができます。ある周波数の電波を受信できるアンテナは、その周波数の電波を送信することもできるのです。



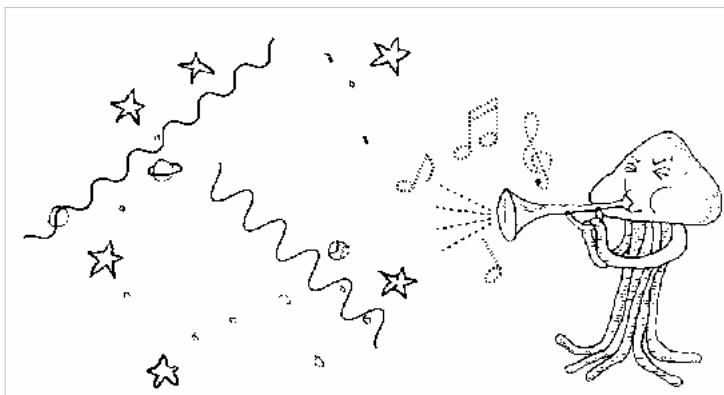
(((13))) 自分で電波を出しても良いの？

電波を出す方法がわかったら、自分で好きなように電波を出してみたいのではないのでしょうか。でも、勝手に出してしまうと、法律で罰せられてしまいます。なぜでしょう？

電波は周波数によって区分されています(6参照)。もし、それぞれ違う目的で電波を使う人たちが、同じ周波数で電波を出してしまうと、互いに混ざってしまい、うまく使えなくなります。このような状態を、「混信している」といいます。ですから、電波を出すときには、どの周波数を使って良いかを「割り当て」で決めてもらわなければなりません。



(((14))) 宇宙には空気がないのに 電波が伝わるのはなぜ？



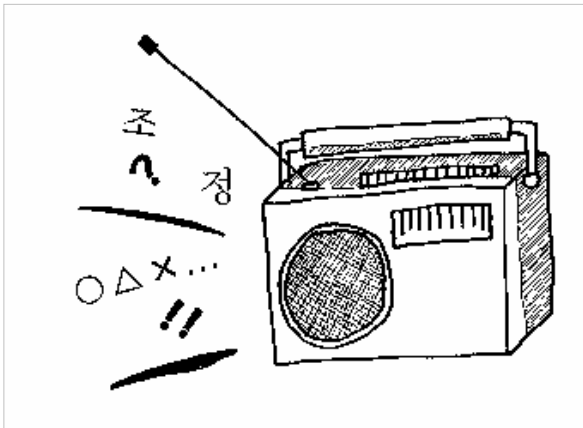
真空の宇宙では、音は伝わるできません。音は空気の波（つまり、振動）なので、空気がない宇宙空間では、波が存在することができないのです。

ところが電波は、電気と磁気の時間的な変化が波として伝わるため、空気のあるなしにかかわらず、空間を伝わるできます。光が宇宙空間を伝わってくるのと同じように、電波もはるか宇宙の果てからでも、私たちの地球まで伝わるというわけです。

(((15))) 遠く離れた国のラジオ放送が 聞こえるのはなぜ？

夜中に AM ラジオをつけたら、聞き慣れない言葉の放送が入ってきた...そんな経験をしたことがありますか？ これは、AM ラジオ放送の電波の伝わり方が、昼と夜とで異なるために起こる現象です。

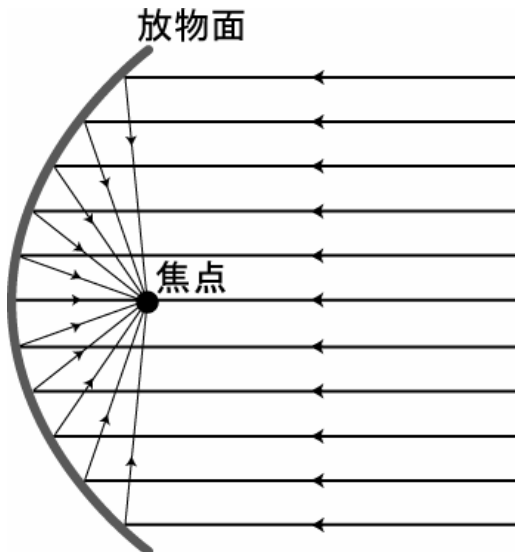
AM 放送は、「中波」という周波数帯（1 MHz 程度）の電波を使っています。地上から 80 km から 200 km くらいのところには、特定の周波数よりも低い電波を反射する「電離圏」という場所があります。電離圏は、高さによって反射する性質の異なる数種類の層からできています。なかでも中波の伝わり方に影響するのは、昼間にだけ現れる「D 層」と呼ばれるもの（37 参照）。D 層には、中波を吸収して、電波を減衰させてしまう性質があります。夜間になると D 層が消滅し、中波は減衰せずに、より高いところにある別の層で反射されるようになります。そのため、夜間にだけ外国のラジオ放送が聞こえるようになるというわけです。



(((16))) B S アンテナはなぜお椀型？

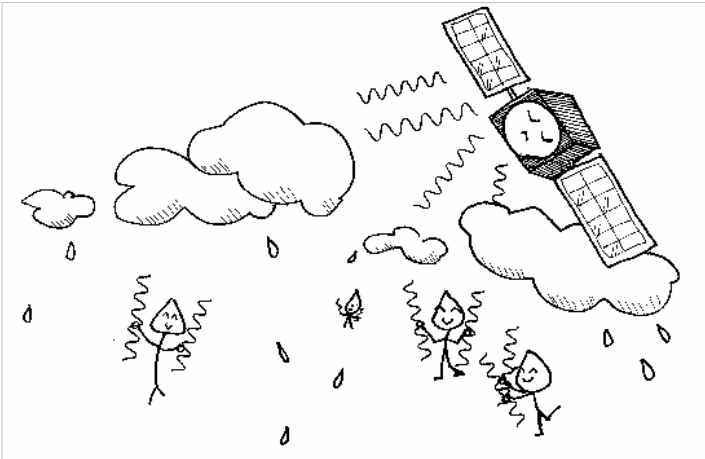
みなさんの家庭では、人工衛星を利用して放送されている衛星放送を見るのに、大きさが数十 cm くらいのお椀型のアンテナを使っていますね。このアンテナは、パラボラアンテナと呼ばれます。パラボラとは、日本語で「放物面」という意味。

放物面で反射した電波は、「焦点」といわれる点に集まる特徴があります。人工衛星からの電波はたいへん弱いのですが、パラボラアンテナで電波を一点に集めて強くし、うまく衛星放送を見ることができるのです。



(((17))) 大雨のときBS放送が

見えにくいのはなぜ？



大雨の日にBS放送の映りがよくなかった、という経験をした人があるでしょう。なぜだかわかりますか？

人工衛星からの電波は、地上に届くまでに、地球の大気を通ってきます。ときには、雲や雨の中を通らなければならないこともあるでしょう。このときに少し問題が起こります。BS放送で使われている電波は、水蒸気によって吸収されやすい性質があるからです。

空気の中にあるひとつひとつの粒(分子)は、その種類によって、固有の周波数の電磁波を放射したり吸収したりします。空気中に含まれる水の場合、周波数22ギガヘルツ(GHz:ギガは10億倍を表わします)を中心に、広い周波数で電波を吸収しま

す。吸収する量は、空気中の水の量によって決まります。

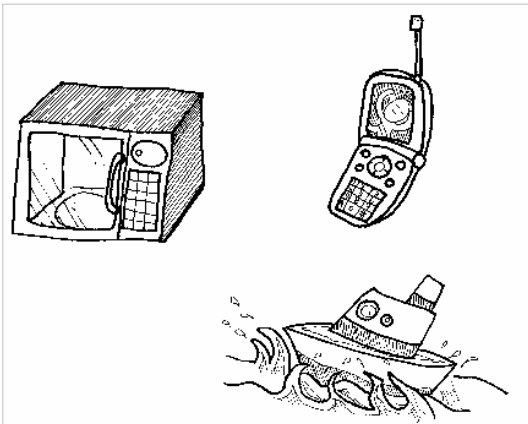
さて、BS 放送で使われる電波はというと、周波数は 12 GHz。水が吸収する周波数からは少し離れているため、晴れた日や少しぐらいの雨のときには、BS 放送の電波はあまり吸収されません。しかし、大雨のときには、雨粒や厚い雨雲によって、空気中の水の量が増えます。そのため、BS 放送の電波は吸収されて、地上まで届く量が減り、放送が見えにくくなることあるのです。

(((18))) 生活のなかで電波は どのように利用されている？

電波は、私たちの生活のさまざまな場面で活躍しています。すぐに思いつくのは、テレビやラジオなどの放送関連、携帯電話やPHSなどの通信関連ですが、ほかにもたくさんあります。

電波の持つ「物を温める（加熱）効果」を利用したのが、電子レンジです。整形外科にある超短波治療器は、電波を使って人間の皮膚の下を温め、治療するのに使われます。新幹線などの列車の運転制御（ATC）にも、電波は利用されています。それから、野球でピッチャーの球の速さを測るスピードガン、車のスピード違反を取り締まる速度違反取締装置、SUICA やICOCA といったICカード方式の定期券・乗車カードなどなど…。

今や、電波なくして私たちの豊かな生活は成り立たないほど、生活のなかで広く深く利用されています。

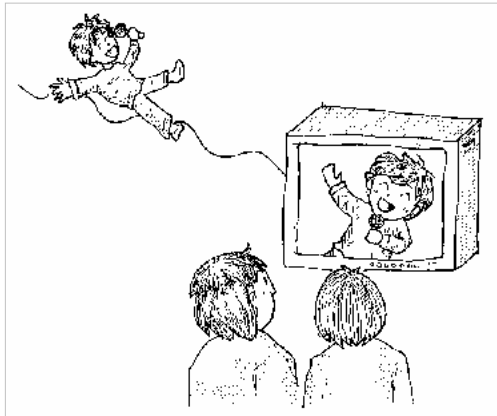


(((19))) テレビで絵が出るのはなぜ？

電波は目では見えないのに、テレビ放送の電波をテレビで受信すると画面に絵が出てきますよね。では、どうやって電波から絵が出るのでしょうか？

それは、テレビで画像を映し出すための信号が、電波に乗せられているからです。大まかに説明すると、アンテナでテレビ放送の電波を電気信号（電流や電圧）に変換したあと、テレビ内で電気信号の中からテレビの映像用と音声用の信号を取り出し、画面からは絵を、そしてスピーカからは音を出すのです。電波の中に信号を加えるには、信号に合わせて電波の強さを変化させたり、周波数を変化させたりします。このような手法を「変調」といい、逆に、電波の中から必要な信号を取り出すことを「復調」といいます。電波を使った放送や通信では、「変調」と「復調」によって、情報を信号として送っているのです。

電波に加える信号にはいくつかの形式があり、日本とアメリカでは同じ方式（NTSC方式）ですが、ヨーロッパでは別の方式（PAL方式やSECAM方式）が使われています。日本のテレビをヨーロッパに持って行っても、テレビを見ることはできません。

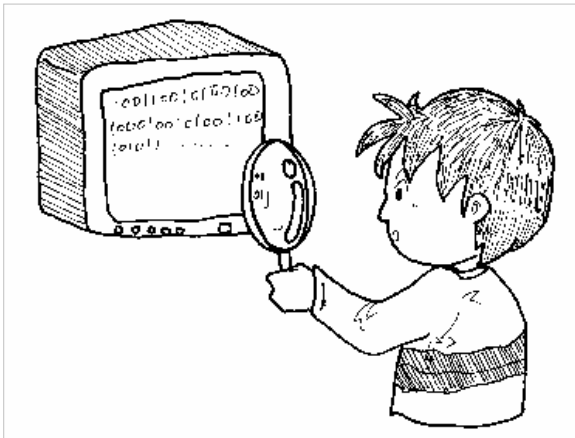


(((20))) 地上デジタル放送と

これまでのテレビ放送の電波は違う？

2003年に始まったテレビの地上デジタル放送は、従来のテレビ放送（アナログテレビ放送）で使われる電波のUHF帯の一部を用いて、放送を行っています。ですから、電波の種類としては従来のテレビ放送と同じなのですが、電波に乗せる信号の形式が異なります。

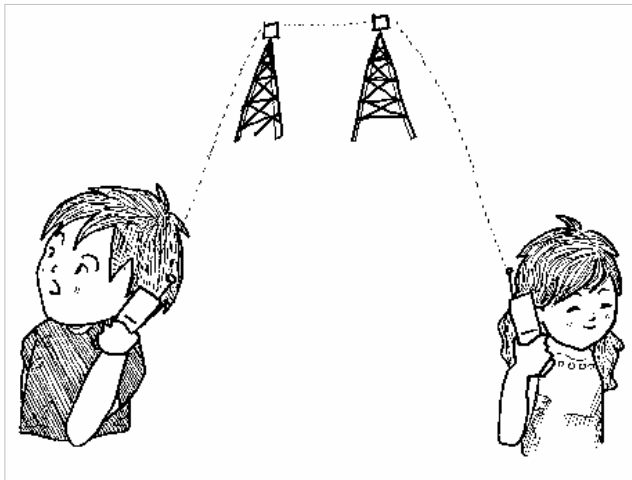
地上デジタル放送では、映像や音声の信号を、たとえば0101...という、0と1の組み合わせでデジタルデータに変換して、さらに情報量を減らすためにデジタル処理で圧縮し、そして「変調」して電波に信号を乗せ、放送します。わかっていただけたかな？



(((21))) 携帯電話で声が電波として 相手に伝わるのはなぜ？

携帯電話の仕組みも、地上デジタル放送と同じです。話し声をマイクで電気信号にして、0101...というデジタルデータに変換、さらにデジタル信号処理で圧縮したあと変調し、信号を乗せた電波として、アンテナから空気中に飛ばします。携帯電話から出た電波は、携帯電話会社の基地局のアンテナで受信され、光ファイバーや電話線などの地上の通信回線を使って、相手の携帯電話の近くの基地局まで情報が送られます。

基地局では、再び電波に変換されて、空気中に放射されます。その電波を相手側の携帯電話のアンテナが受信し、電気信号に変えて復調、さらにデジタル信号を人間が聞くことのできる電気信号に変換してスピーカを鳴らすことにより、最終的に話し声が伝わるのです。少し説明がややこしかったですか？



(((22))) 携帯電話のアンテナは1つなのに なぜ電波の送受信を同時にできるの？

携帯電話では、電波の送信と受信で同じアンテナが使われています。ただし、同時に使っているのではなく、短い時間で送信用と受信用とに用途が切り替わっているのです。

実は、たいていのアンテナは、送信用にも受信用にも使うことができます。携帯電話では大きさや重さが限られますので、1つのアンテナで送受信を兼ねているというわけ。ちなみに、1つだけに見える携帯電話のアンテナですが、本体の中にもう1つ入っている場合もあります。電波の干渉の影響を避けるために、複数のアンテナを使っているのです。



(((23))) 携帯電話とPHSはなにが違う？

見た目もほとんど同じで、同じように使える携帯電話とPHS（パーソナル・ハンディホン・システム）ですが、一体なにが違うのでしょうか？ それは、使っている電波の周波数と強さ、そしてデジタル信号の処理方法です。

携帯電話で使用されるのは、周波数がおよそ800MHz、電波の出力が100mW（ミリワット）程度のもので、一方、PHSでは、周波数が2100MHz、出力は30mW程度。つまり、PHSの方が電波の強度が弱く、周波数が高いのです。周波数が高ければ電波が直進する性質が強くなるため、障害物があると、その先には届きにくくなります。さらに、出力が小さいPHSの電波は、携帯電話に比べて、遠くまで届きにくいということになります。PHSでは、電波を送受信するための基地局がたくさん必要なのは、そのためです。逆に携帯電話では、電波が遠くまで届きやすいので、基地局の数が少なくても、広い通話範囲を確保することができます。



(((24))) 携帯電話のアンテナが折れたのに なぜ通話できるの？

携帯電話のアンテナは細くて外側に飛び出しているので、ちょっとしたことで曲がったり、折れたりしますね。でも、たいていの場合、折れていても問題なく通話できるのはなぜでしょう？

携帯電話で使われているアンテナは、ホイップアンテナという線状のアンテナです。線状のアンテナは、途中で折れてしまったとしても、本体についている短い部分だけでもアンテナの役割を果たします。極端な場合ですが、アンテナの根本の部分がちょっとしたことで本体についてさえいれば、感度の点でも問題ありません。さらに、本体内部にもう1つアンテナがついている場合が多いので、ホイップアンテナが壊れても通話ができるというわけです。

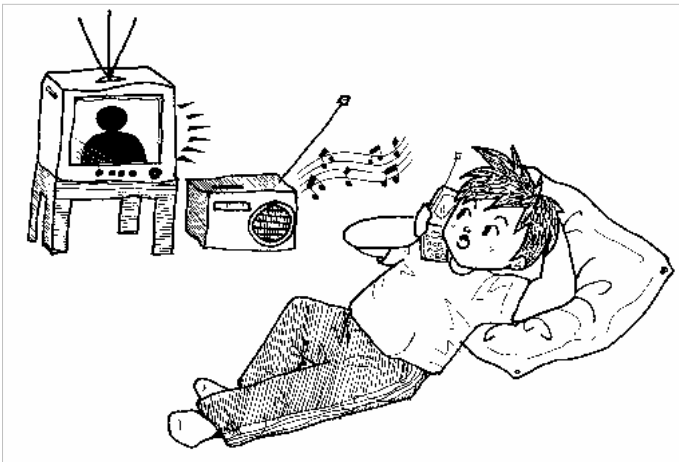


(((25))) テレビとラジオと携帯電話で 電波に違いはある？

テレビとラジオと携帯電話、それぞれに使われている電波は周波数が違いますし、電波に情報を入れる方法にも違いがあります。

テレビの場合、およそ 100 MHz 付近の VHF 帯と 400 MHz 付近の UHF 帯が使われています。AM ラジオは 1 MHz 付近、FM ラジオは 80 MHz 付近です。携帯電話では、おもに 800 MHz 付近の電波が使われます。

電波の中に信号を加える変調や、信号を取り出す復調という過程では、信号に合わせて電波の強さを変化させたり、周波数を変化させたり、電波の波の進みぐあい（位相）を変えたりします。変調の方法にはさまざまなものがあり、用途に合わせて用いられています。



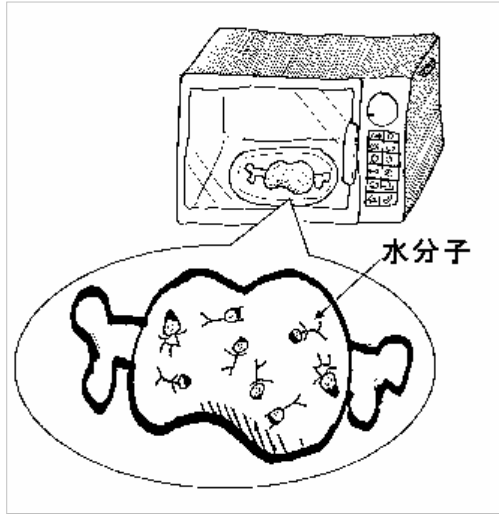
(((26))) 飛行機の場所や車のスピードが レーダーでわかるのはなぜ？

レーダーで飛行機の現在地を知ることができますし、車の速度取り締まりに使われる「オービス」などでもレーダーが活躍していますね。実は、レーダーにも電波が使われています。では、どのような仕組みで、位置やスピードがわかるのでしょうか？

レーダーとは、測定したい対象に向かって電波を送信し、対象物にあたって戻ってきた電波を受信する装置のことです。レーダーでは、対象までの距離や、その対象が動いているスピードを測定します。電波は空間を光の速さで伝わりますから、送信から受信までの時間を測定することで、物体までの距離がわかります。また、物体がある速度で動いている場合には、反射して戻ってくる電波の周波数が、送信時と少しだけずれます（ドップラー効果といいます）。この周波数の差から、物の速さがわかるのです。



(((27))) 電子レンジは電波を使っている？



そのとおり。電子レンジを使えば、スイッチ一押しで簡単に料理を温めることができますね。「物を温める」ことができるのが、電波の大きな特徴の1つです。では、どうやって温めているのでしょうか？

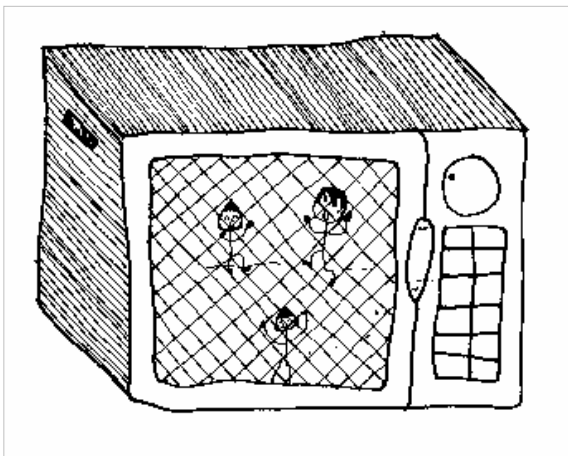
電子レンジで料理を温めるとき、発振器から発生した電波が食べ物に含まれる水の粒（水分子）に作用し、水分子は激しく振動し始めます。この振動が、まわりの水分子にもどんどん伝わっていくことによって温度が上がり、料理が温まるのです。

電子レンジのひみつは、料理に含まれている水ということですから、乾燥した材料を入れても温かくはなりません。乾いたタオルが温まるかどうか、実験してみてください。

(((28))) 電子レンジの中の電波が 外に出てこないのはなぜ？

27 で、電子レンジで使っている電波は、水の分子を激しく振動させる作用があることを説明しました。もし、電子レンジの外に電波が出てきたら、水分を含んだ物すべてが加熱され、大変なことになってしまいますね。特に、人間の体の60~70%は水分でできていますから、漏れ出た電波が私たちの体に当たったら、大やけどするおそれがあります。

そのため、電波が外に出ないように、扉の部分に金属の網が張ってあります。この金網は、電子レンジの電波に対しては鏡の役目を果たし、電波は扉で反射されて外には出てこないようになっています。



(((29))) IHクッキングヒーターなどの 電磁調理器も電波を使っている？

最近では、IHクッキングヒーターといわれる電磁調理器が普及してきました。電気会社が宣伝している「オール電化」にもあげられています。火の出ない板の上に置いた鍋が熱くなるというのですから、不思議ですね。

電磁調理器は電子レンジとは違い、鍋自体が熱くなり、その熱で調理します。つまり、火を使って料理する場合と同じです。では、板ではなく、鍋だけが熱くなるのはなぜでしょうか？

電磁調理器の板の裏側にはコイルが巻いてあり、そこに数十キロヘルツ (kHz) の交流電流 (プラスとマイナスが短時間に入れ替わる電流) が流れています。電流の向きが入れ替わるのですか



ら、板の上に発生する磁場も交流磁場*です。板の上に金属の鍋を置くと、この交流磁場によって、鍋の底の部分に電流が流れます。この電流が金属の中を流れるときに熱を出し（ジュール熱といいます）鍋が熱くなるという仕掛けです。この原理を専門的に「誘導加熱」といいますが、「IH」は誘導加熱の英語 Induction Heating の略です。

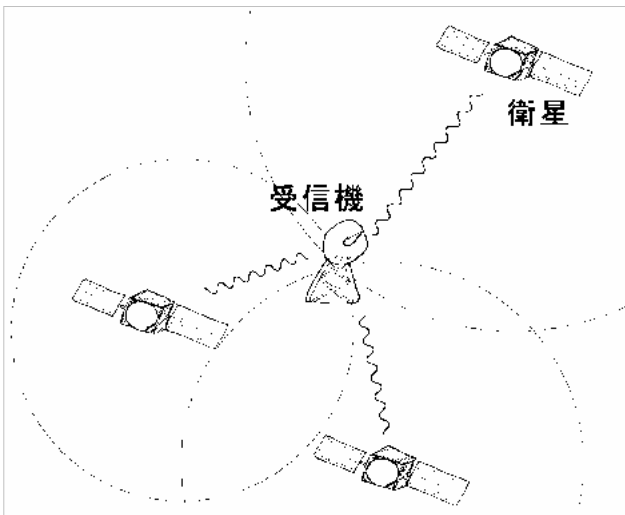
電波を使って温める電子レンジとは違い、電磁調理器は電波を使っているわけではありません。

* 交流磁場：交流電流によって発生する磁場のこと。電流の流れる方向が変わるのに対応して、N極とS極の極性が変化します。

(((30))) GPSで自分の位置がわかるのはなぜ？

カーナビや携帯電話にも装備されるようになった GPS は、人工衛星からの電波を受信して、自分の位置を計算します。日本語では、「全地球測位システム」といいます。

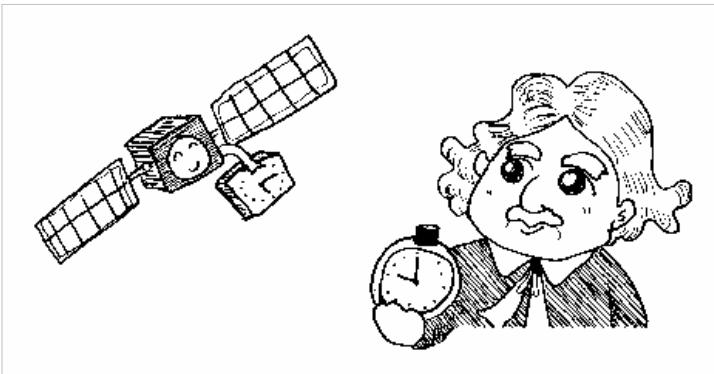
GPS 用の人工衛星は 24 個も飛んでいて、世界中のどの場所においても、いつでも 4 個以上視界に入っています。それぞれの人工衛星には非常に正確な時計が積まれており、時刻信号と人工衛星の位置情報を、電波に乗せて発信しています。カーナビなどの GPS 受信器では、複数の人工衛星からの電波を受けます。これらの衛星からの位置情報を用いて、三角測量の原理により、GPS 受信器の位置をただちに計算します。この方法で、誤差数 m 程度の精度で、自分の位置がわかるのです。



(((31))) GPSにはアインシュタインの 相対性理論が使われている？

GPSでは、自分の位置を計算するのに、人工衛星からの位置と時刻の情報を使っています。もし、衛星の時刻情報が1マイクロ秒(1秒の100万分の1)違っていると、地上では300mもの誤差になるので、正確な情報が必要です。

問題は、人工衛星が地上ではなく、地球の周りを飛んでいるということ。アインシュタインの一般相対性理論によると、高さによって重力の強さが違うため、人工衛星と地上とでは時間の進み方が異なります。重力の違いによるこの時刻のずれは、1日でおよそ38マイクロ秒くらい。これは、GPSの計算による位置にすると、1km以上違うことになります。こんなに違ってしまうと、正しい位置とはいえません。そこでGPSでは、ごくわずかの時刻のずれもきちんと補正して、正しい位置を求めることができるようにしているのです。生活のなかに相対性理論が使われているというのは驚きですね。



(((32))) 無線 LAN はどうやって インターネットにつなぐことができる？

自分の家でコンピュータを使い、インターネットを楽しんでいる人もたくさんいると思います。インターネットにつなぐのに、最近ではケーブルの代わりに、無線 LAN (Local Area Network) という、電波でつなぐ便利な方法が普及してきました。無線 LAN で飛ばした電波は、無線 LAN アクセスポイントという装置で受信され、そこで有線ネットワーク (光ファイバーなど) につながり、さらにその先のインターネットにつながっているのです。

無線 LAN にはさまざまな方式がありますが、現在の主流は、IEEE* という組織が定めた、2.4 GHz の周波数帯の電波を使うシステムです。1 秒間に 1 千万個程度の、0101... というデジタ



電車の中でもインターネット

ル信号列を送ることができるというものです。

無線の電波にデジタル信号を乗せたり、電波から信号を取り出ししたりする方法は、テレビや携帯電話でも使われる「変調」と「復調」という手法なのですが、無線 LAN の場合には、ただデジタルデータをやりとりするだけではなく、不正にネットワークに侵入できない仕掛けや、データが他人に漏れない仕組みまでもが施されています。

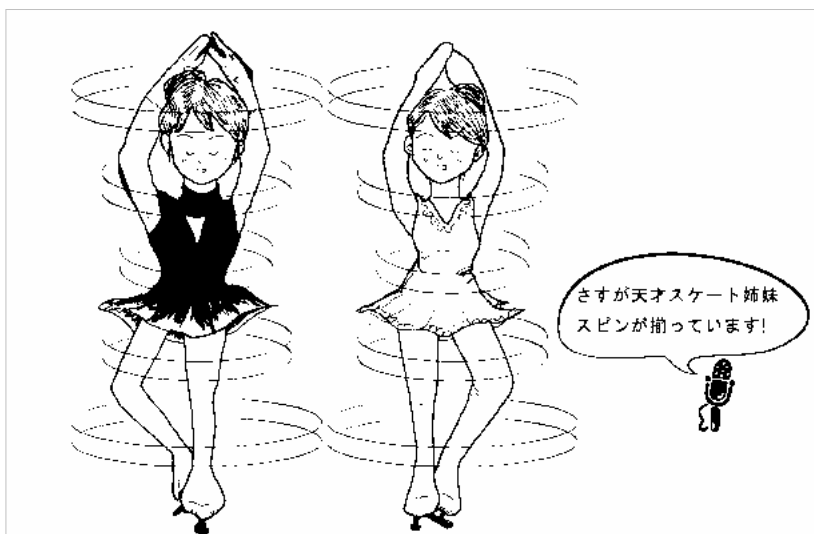
* IEEE(アイ・トリプル・イー): “The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.” が正式名称で、アメリカに本部がある世界最大の電気・電子関係の技術者組織。コンピュータ、バイオ、通信、電力、航空、電子等の技術分野で指導的な役割を担っています。

(((33))) 電波で病気を診断する装置がある？

肩や腰が痛くなって整形外科へ行くと、X線のほかにMRI*を使って、骨や神経の様子を調べることがあります。MRIは核磁気共鳴という原理を利用した医療装置で、核磁気共鳴を起こすのに電波が使われます。

人間の体には多くの水が含まれています。水は、2個の水素原子と1個の酸素原子からできていますね。MRIでは、磁場の中に人体を入れて、体内の水素原子の原子核に対して電波を照射し、水素原子核のスピンの（原子が回転していると考えていただければ結構です）の軸が同じ向きを向くようにします。これを核磁気共鳴といいます。

水素原子核は電波のエネルギーを吸収するため、水素原子がた



くさんあるところでは、電波がたくさん吸収されることとなります。この吸収量を体内のいろいろなところで測定することにより、人体の断面写真を得ることができるのです。体内の異なる部位の画像を得るために、磁場の強さや電波の出し方を変えて測定します。

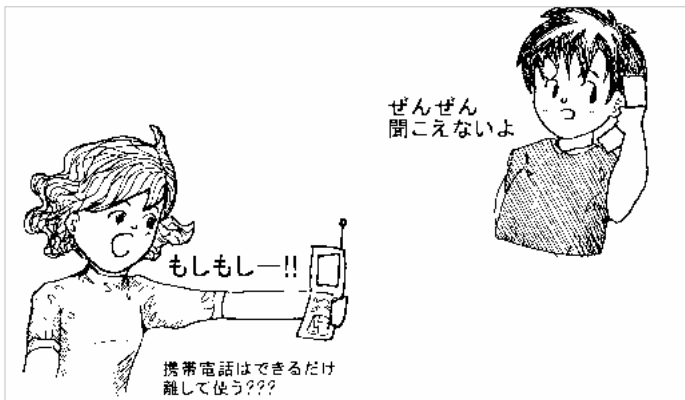
* MRI : Magnetic Resonance Imaging (核磁気共鳴画像化)

(((34))) 携帯電話の電波は健康に悪い？

電波は目に見えないため、「自分のまわりにはどれくらい電波が飛んでいるのだろう」、「健康になにか影響があるのではないか」と気になるところですね。特に、携帯電話は頭のすぐ近くで使うため、脳に悪影響があるのではないかと、心配する人が多いようです。

これまでの研究では、「携帯電話を使うことで健康に悪影響があることを示す、決定的な証拠は見つかっていない」と報告されています。しかし、携帯電話の歴史はまだ浅いため、十分に研究が行なわれているとはいえ、「健康に影響がある可能性は消えておらず、引き続き調査が必要」とも指摘されています。

近年、携帯電話の電磁波を規制しようという動きが、世界的に強まってきています。これは、SAR（比吸収率）という量により人体への電磁波の吸収量を見積もり、その大きさを制限しようというものです。SARは、人体組織に吸収されるエネルギーの量です。現在普及している携帯電話にはSAR値が示されており、日本の規制値（2 W/kg）以下となっています。ふつうの頻度で使用する限りは、大丈夫だということなのでしょう。



(((35))) 送電線の近くにいると健康に悪い？

巨大な送電線には高圧電流が通っていますが、この送電線が、実はアンテナの働きをしています。私たちのふだんの生活になじみの深い周波数、つまり 50 Hz や 60 Hz で電波を出しているのです。

この周波数は、テレビやラジオの電波の周波数よりずっと低い、「低周波」と呼ばれるものです。送電線からの電波が健康に影響を及ぼすかどうか、因果関係を示した科学的に確かな証拠は、今のところありません。

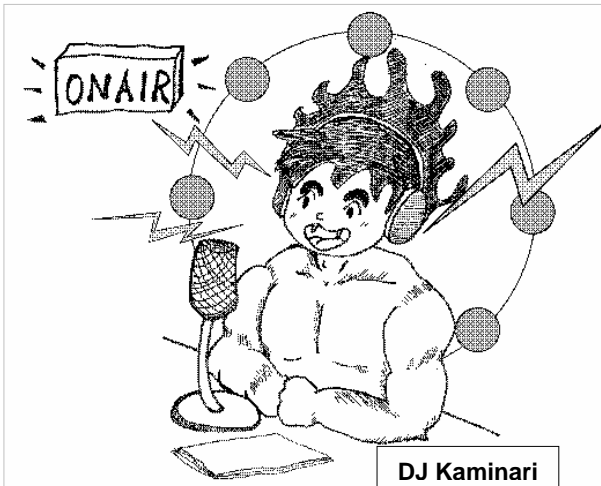




(((36))) 雷が鳴るとラジオに雑音が入るのはなぜ？

雷は、雲の下層部分にたまったマイナスの電気が、地上に向かって放電する現象です。放電では、数万アンペアの電流が空気中をむりやり流れるため、強い光と熱が発生します。この熱で空気が瞬間的に膨張して、ゴロゴロと大きな音が出ます。電流が流れるとき、同時に電波も出ているのです。このような電波を「空電」といいます。

空電の電波は AM ラジオの周波数も含むため、AM ラジオに「ガリガリ」という雑音が入ってしまうのです。また、空電の電波はラジオだけでなく、電線を使った通信にも影響を及ぼすことがわかっています。



(((37))) 電離圏ってどんなもの？

地球の大気圏の高度 50 km 以上の場所では、太陽の紫外線や X 線によって、空気の成分の一部が、電氣的にプラスを帯びた原子(イオン)とマイナスの電子に分離します。これを電離といい、電離したイオンと電子でできた空気のことをプラズマといいます。

電離する高層空気は、全体のわずか 0.001%から 0.1%程度なのですが、それでも、地上付近に比べて、非常に多くの電気を帯びたイオンと電子が存在することになります。このような場所は、電離圏と呼ばれます。

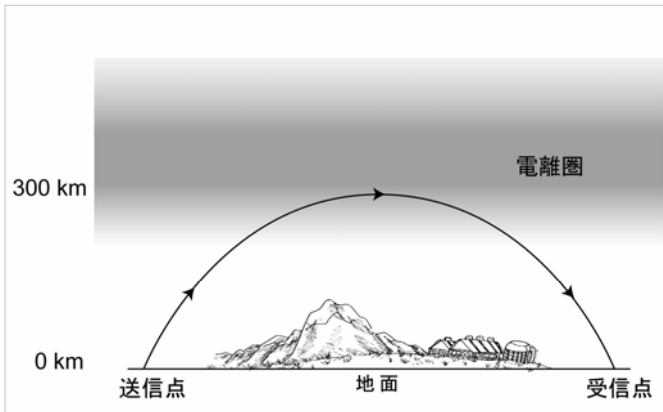
太陽からきた紫外線や X 線は、高度が下がるにつれて、空気を電離するエネルギーとして使われ、どんどん減少します。そのため、電離が起きる量は、ある高度で最大となります。実際には、異なる高度で層状に電離の効率が変わり、高度の低い方から「D 層(高度 60 - 90 km 付近)」、「E 層(90 - 130 km 付近)」、「F 層(130 - 1000 km)」と名付けられています。



(((38))) どうして電離圏で電波は反射するの？

電離圏をつくっているプラズマは、プラスの電気を帯びたイオンとマイナスの電子とでできています。電離圏ではイオンと電子の数はほぼ同じ数だけ存在するため、電気的には中性（電気を帯びていない）です。電離圏の電子は、質量(重さ)がイオンの1000分の1以下と非常に軽く、自由に動くことができます。電子が自由に動くということは、電気が流れるということ。つまり、電離圏は、電気が流れやすい金属と同じ働きをします。その結果、金属で電波が反射するのと同じように、電離圏も電波を反射します。

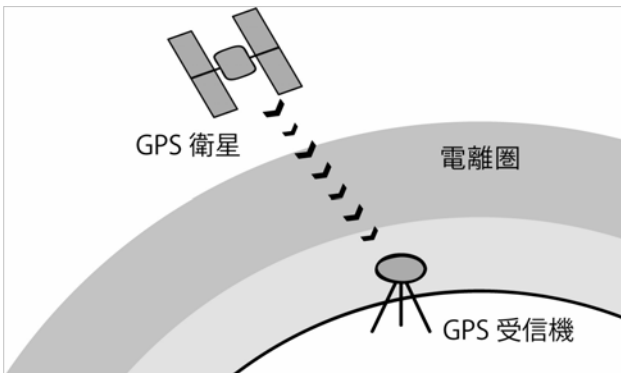
ただし、どんな電波でも反射するというわけではありません。プラズマ中の電子の数（電子密度）によって、反射できる電波の周波数が決まっています。電子密度が低いと、周波数の低い電波しか反射できません。電子密度が高くなるにつれて、より高い周波数の電波まで反射できるようになります。具体的には、電子密度の低いD層では、長波といわれる低い周波数の電波を反射します。それに対して、電子密度が高いF層では、短波まで反射できるのです。



(((39))) 電波を使った電離圏の観測って？

電離圏では、プラズマ電子の密度によって、反射する電波の周波数が異なります。この性質を利用して、地上から電波を発射し、電離圏で反射して戻ってくる電波を観測することで、電離圏の高さや電子密度などを知ることができます。

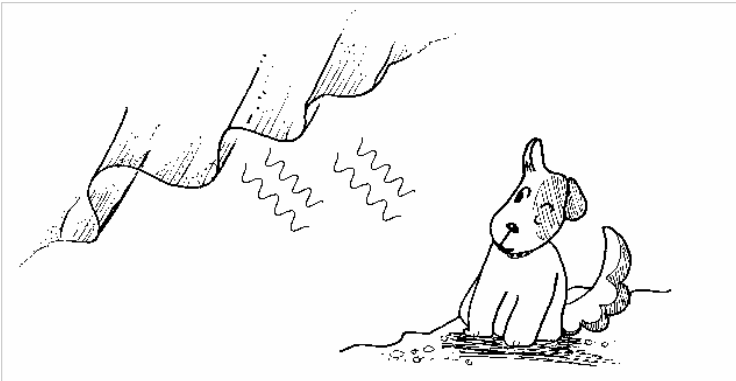
また、GPS 衛星からの電波の伝わり方から、電波が通ってくる電離圏の状況を調べることもできます。電波が伝わってくる経路上の密度や温度、電離の度合いによって、電波の位相が変化します。そこで、いくつかの GPS アンテナを使って、GPS 衛星からの電波の強さと位相を精密に測定し、互いのアンテナ間での関係を調べることで、電離圏の情報を得ることができるというわけです。



(((40))) オーロラから電波が出ている？

緑や青、赤色に夜空を彩るオーロラは、時々刻々とその姿を変えながら舞い、やがて消えてゆく、とても幻想的な現象。実は、この美しいオーロラからも、電波が出ているのです。正確には、オーロラの素となる加速された電子が、磁力線に沿って地球に降ってくる時に電波を出しています。電波の周波数は数十から数百kHzで、AMラジオ放送よりもっと低い周波数です。

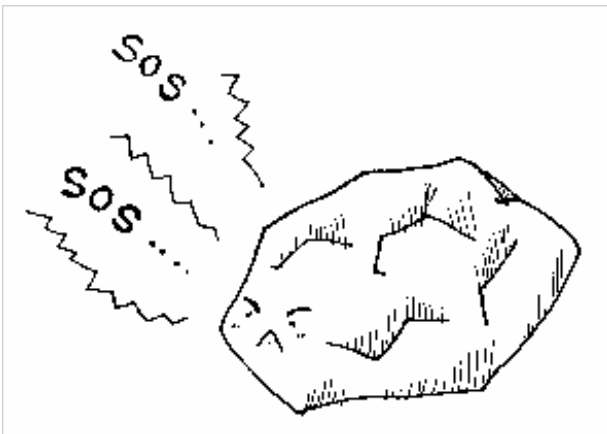
オーロラから電波が出ていることがわかったのは、木星や土星のオーロラからの電波をキャッチしたことがきっかけでした。そのころは、木星や土星のオーロラはまだ見つかっていなかったのですが、正体不明の強い電波がやってきていることは知られていました。のちに、その電波の発生源が木星や土星の極付近であることがわかり、太陽活動との関連性から、その電波がオーロラから出ているのだと推測されました。その後、地球のオーロラからも電波が出ていることが、人工衛星などで観測されるようになったのです。



(((41))) 地震と電波とは関係がある？

地震が起きるときには、地中の岩石が大量に砕けますが、そのとき岩石に電気が発生して電波が出るといわれています。特に、大きな地震の少し前から徐々に岩石が壊れ始めるので、岩石から出る電波をキャッチして、地震予知ができるのではないかと考えている研究者もいます。実際、このような電波を受ける試みも行われていますが、十分な科学的証拠はまだ見つかっていません。

また、大きな地震の発生直後、電離圏にも影響が出ることが観測からわかっています。2004年12月にスマトラ沖で地震が発生した直後、震源地周辺の上空の電離圏では電子も揺さぶられ、プラズマ密度が変化する状態が、高度約300 kmにまで及んでいたことが観測されています。

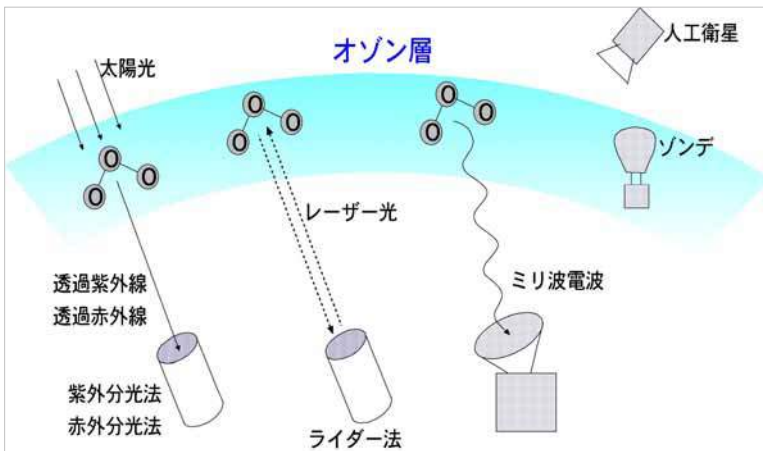


(((42))) 電波でオゾン層を観測する方法とは？

大気中にはオゾン層があり、太陽からくる有害な紫外線を吸収する役割をしています。そのおかげで、地上で生き物が生活することができるのです。

しかし近年、人間の作り出したフロンガスによってオゾン層が壊され、徐々に薄くなっていることが確認されているのはご存じですね。フロンガスを出さないよう、国際的な取り決めもなされてきました。

オゾン層の様子を観測するには、さまざまな方法がありますが、電波を使って観測することもできます。オゾンが出す電波を、直接観測するというものです。オゾンからの電波はとても弱いため、ふつうのテレビやラジオでは、まったく受けることはできません。しかし、非常に高い感度を持つ特殊な受信装置を使って、観測することができるようになりました。オゾンからの電波は24時間出ていますので、長い間連続してオゾン層の状態を観測するには、電波を使う観測はとても役に立ちます。



(((43))) 宇宙からも電波はくる？



宇宙からは、実にさまざまな電波がやってきます。太陽のように自分で光っている星（恒星）や太陽の周りをまわる惑星などからは、天体自体の温度で決まる電波（熱放射もしくは黒体放射）が放射されています。この熱放射による電波は、温度を持つ物体すべてから出てくるもので、人間からも体温にしたがった電波が出ています。

私たちの太陽系がある天の川銀河（銀河系）や他の渦巻き状の銀河の中心部分には、ブラックホールがあるとされ、そのブラックホールからも、非常に強い電波が出ていると考えられています。ブラックホールのすぐ近くにある高温のガスに含まれる電子は、

ブラックホールが持つ強い磁場の方向に、光に近い速度で動き、この動きから電波が発生すると推測されているのです。

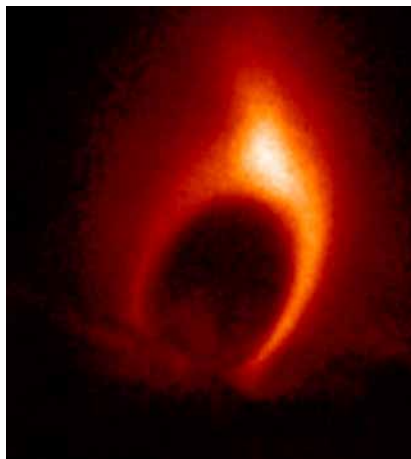
さらに、ビッグバンといわれる、宇宙が誕生したときの大爆発（火の玉宇宙）の光のなごりが、宇宙のはるか彼方から電波としてやってきています。ビッグバンの直後から、時間の経過とともに宇宙空間はどんどん広がっていき、今のような広大な宇宙となりました。最初の大爆発のときには非常に高温だった宇宙の温度が、宇宙空間が広がるにつれてどんどん下がり、今では絶対温度で約3ケルビン(摂氏 - 270)にまで下がっています。つまり、ビッグバンのなごりの光は、今は絶対温度3ケルビンに相当する熱放射の電波を出しているというわけです。1964年、電波を使った観測で偶然にもこの光が発見されたことで、「ビッグバン宇宙論」が確かなものとして理解されるようになりました。

(((44))) 太陽からやってくる電波とは？

太陽から放出される光（電磁波）は、私たちの地球にも大量のエネルギーを降らせ、地球の環境に大きな影響を与えています。太陽からの電磁波には、目で見える可視光だけでなく、X線や紫外線、赤外線から電波まで、さまざまな種類があります。

太陽から出る電波は、大きく 2 種類に分けることができます。1 つは、コロナといわれる太陽の周りの高温ガスや、彩層という太陽表面のすぐ近くから、ガス自体の温度にしたがって出てくる電波（熱放射）。もう 1 つは、フレアと呼ばれる太陽の表面での爆発現象によって、その付近にある電子が、太陽の持つ磁場の磁力線に沿って、高速で動きまわることにより出てくる電波（非熱的放射）です。

熱放射は温度によって決まるため、放射される量は時間的にはほとんど変化しません。それに対して、非熱的放射はフレアが発生した直後の短い時間だけ、非常に強い電波を放射します。



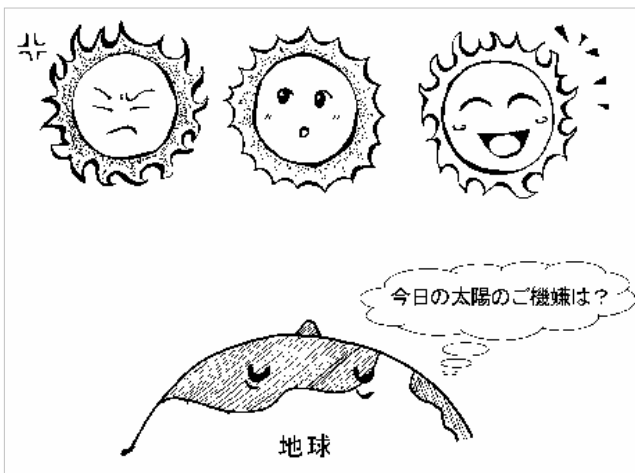
ようこう衛星によって観測された、1992年2月21日に発生した太陽フレアのX線写真。フレアのサイズは10万kmにもなります。（提供：宇宙航空研究開発機構）

(((45))) 太陽活動と電波とは関連がある？

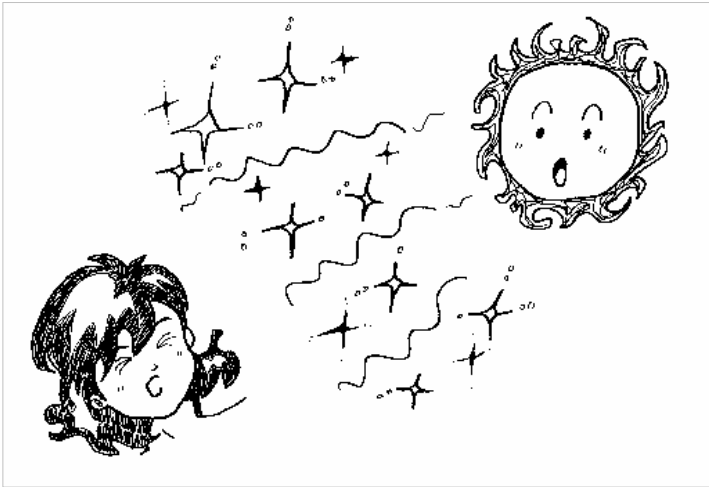
太陽から出る電波は、太陽活動と大いに関係があります。太陽活動を表わす指標として、黒点の数をを用いるのが一般的ですが、周波数 2.8 GHz (波長 10.7 cm) で測った太陽電波の強さも、黒点数とほぼ同じ変化をすることがわかっており、太陽活動の指標としてよく用いられています。

太陽活動が活発になることによって、地球での電波の伝わり方に影響を与えることが知られています。たとえば、太陽で大規模なフレアが発生すると、無線通信が困難になるなどの電波障害を引き起こします。また、送電線に電力異常が発生して、大規模な停電になったりもします。

このように、太陽活動は地球上の社会生活に、さまざまな形で影響を及ぼすことから、太陽活動による地球周辺の環境の変化を予測しようという研究が進みつつあります。宇宙天気予報の研究です。



(((46))) 電波で太陽風を観測する？



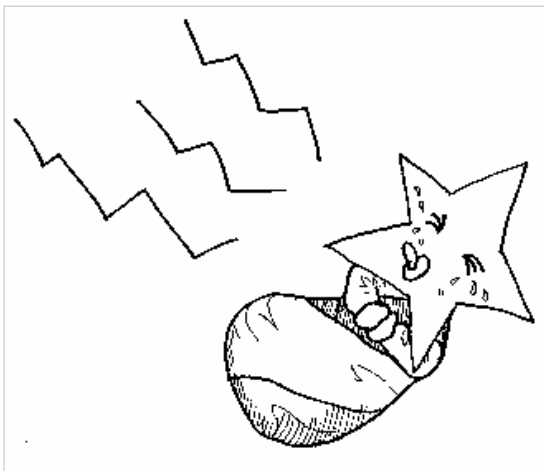
太陽からはさまざまな粒子が常に放出されており、太陽風と呼ばれています。太陽風に含まれている粒子の密度は非常に低いため、太陽風そのものを、地上から直接的に観測することは困難です。

そこで、シンチレーションという現象を利用する技術が開発されました。シンチレーションとは、地球から遠く離れた、クエーサー天体などの強い電波を出す天体からの電波を受信するときに、太陽風の粒子で電波の干渉が起こり、天体からの電波がゆらぐ現象です。シンチレーションの度合い（星のまたたきの状態）を観測することで、太陽風の状態を知ることができるのです。

(((47))) 電波で宇宙のガスを観測できる？

宇宙空間にはたくさんの星がありますが、星以外にも、星間ガスと呼ばれるガスが漂っています。星間ガスはほとんどが水素で、平均すると1 cc中に水素ガス1個くらいしかない、非常に希薄な状態で存在しています。また、銀河系のところどころには、水素ガスが集まって、1 ccあたり100個から1000個程度もある場所があります。これらは星間分子雲と呼ばれ、新しい星が誕生している場所なのです。

星間ガスからは、ガスの成分に特有の電波が出ています。たとえば、星間空間の希薄な水素ガスからは、波長が21 cmの電波が出ていますし、星間分子雲からは、その中に含まれている一酸化炭素ガスからの電波（波長は2.6 mmなど）が出ています。これらの電波を観測することにより、星間ガスの分布を知ることができます。私たちの銀河系が渦巻き銀河であることは、水素ガスの分布の観測を通じて、初めて知ることができたのです。

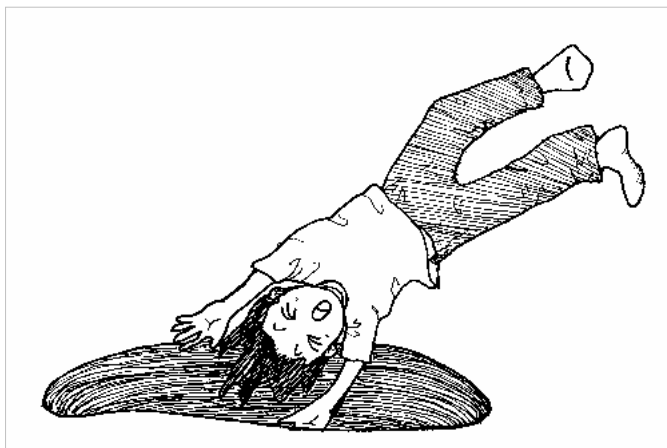


(((48))) 電波でブラックホールが見つかる？

強い重力で、光でさえ吸い込まれたら外に出られないブラックホールを、電波を使って見つける方法があります。

ブラックホールのすぐ近くにある星間ガスは、ブラックホールの引力で楕円運動をします（地球が太陽の周りをまわるのと同じ原理で、ケプラー運動といいます）。そして、星間ガスから出てくる電波は、ガスの運動によって周波数が変化します（ドップラー効果）。そこで、ブラックホール候補の近くにある星間ガスの位置と周波数の変化を詳しく観測し、それがブラックホールと呼べるくらい強い引力を持っているかどうかを判定するのです。

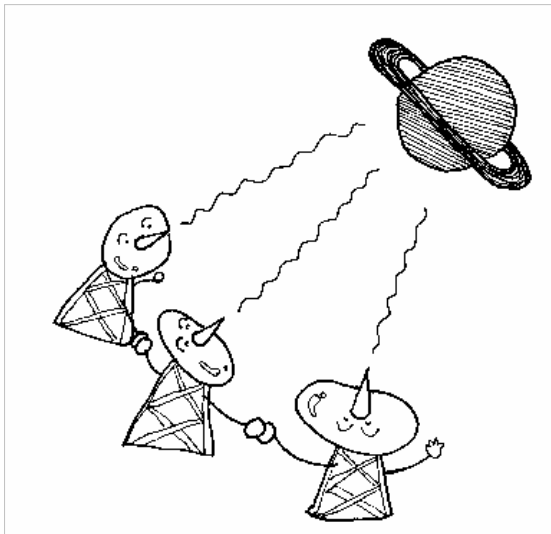
ただし、星間ガスはブラックホールのすぐ近くにありますが、非常に細かいところまで観測できる装置でなければ、この様子を見ることができません。それを可能にしたのが、VLBI(Very Long Baseline Interferometry: 超長基線電波干渉法)という技術です。



(((49))) VLBIを使ってなにが観測できる？

VLBI は、天文学的に遠くにある天体からの電波を、離れた 2 カ所以上のアンテナで同時に受信し、その時間差を精密に計測することで、天体の位置を非常に高い精度で測定するものです。銀河系内のたくさんの天体の位置を正確に知ることで、私たちの銀河系の形を精度良く求めることができます。また、ブラックホール候補の近くのガスの位置とドップラー効果を測定することで、ガスの運動がわかり、その運動の様子から、本当にブラックホールがあるかどうかを推測することができます。

VLBI は、逆の意味に使うこともできます。つまり、天体の位置がよくわかっている場合、地上のアンテナの正確な位置を把握できるわけです。定期的な観測を行うことにより、地面の動きを知ることができます。

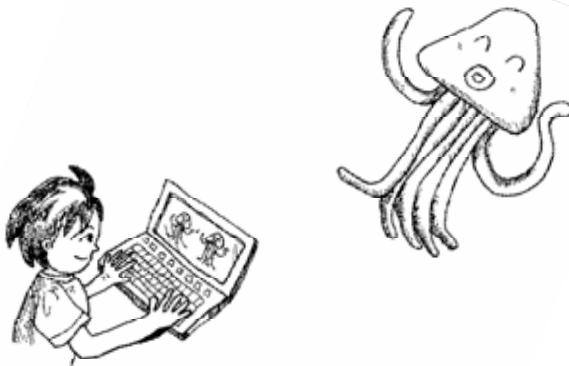


(((50))) 電波を使って地球外生命の探査をする？

広い宇宙のどこかには、人類と同じように、あるいは人類以上に発達した知能を持つ生命体（宇宙人）がいるかもしれない... そう考える人は多いと思います。では、そのような知的生命体が宇宙のどこかにいるとしたら、どのようにして彼らを探すことができるでしょうか。

これまでに何度か、地球人は宇宙人と連絡をとるために、情報を乗せた電波を宇宙に発信しました。電波は、目で見える可視光線に比べて、宇宙空間にある塵の影響を受けにくいため、遠くまで届き、遠い場所への連絡には有利です。おそらく、宇宙人もほかの知的生命体と連絡しようとするときには、電波を使うことでしょう。

そこで、宇宙人が発信したと思われる電波をキャッチして、知的生命体の存在を証明しようという取り組みが続けられています。最も古いのは、1960年にアメリカのドレーク博士の提案で始まっ





アレシボ天文台の電波望遠鏡。自然の地形を利用して直径 305 m の反射面が設置され、受信機は高さ 150 m に吊り下げられています。(提供: NAIC - Arecibo Observatory, a facility of the NSF)

た「オズマ計画」。地球から比較的近い 2 つの恒星に電波望遠鏡を向け、信号が送られていないかどうかを調べました。しかし、それらしい信号は受信できませんでした。

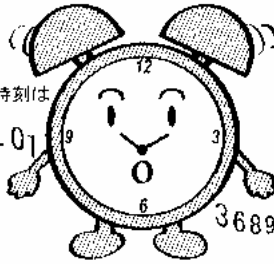
その後、いくつかの計画がありましたが、もっとも有名なのは、「SETI@home」というプロジェクト。プエルトリコにあるアレシボ天文台で、いろいろな星にアンテナを向けて電波を受信し、それを解析して、宇宙人が発信したと思われる信号を検出する試みです。信号の解析にはSETI@homeというソフトウェアを使い、インターネットにつながるコンピュータを持っている人なら、だれでも解析に参加できるということで話題となりました。今度、みなさんも参加してみませんか？

標準電波ってなに？

「いま何時？」に対する正確な答えが、電波を通して送られてきています。その電波は標準電波といわれ、得られる時刻は、なんと10万年に1秒の誤差しかないという驚異的な精度。情報通信研究機構が、原子時計によって日本標準時を決め、2箇所の送信所から全国に向けて送信しています。

ただいまの正確な時刻は

10時11分36.01



368923181777 秒です

電波時計ってなに？

標準電波を高性能なアンテナで受信し、その時刻を教えてくれるのが電波時計。最近では、腕時計や置き時計などのいろいろなタイプが、2000円程度からと、手ごろな価格で販売されているようです。もっとも、電波時計がよく売れるのは日本とドイツくらい、という声もあるようですが...

原子時計の仕組みや日本標準時の詳細に関しては、
情報通信研究機構日本標準時グループ：<http://ijy.nict.go.jp/>
をご覧ください。

電波

50のなぜ

- 発行日 2007年2月1日
- 企画・制作 名古屋大学太陽地球環境研究所
りくべつ宇宙地球科学館
豊川市ジオスペース館
- 文 長濱 智生
絵 大村 純子
編集 野田ゆかり
- 発行 名古屋大学太陽地球環境研究所
(〒464-8601 名古屋市千種区不老町)
<http://www.stelab.nagoya-u.ac.jp/>
- 印刷／製本 大陽出版株式会社
(〒441-8077 豊橋市神野新田町ロノ割 200)

本冊子は、平成 18 年度名古屋大学地域貢献特別支援事業の一環として制作されました。

All rights reserved.

