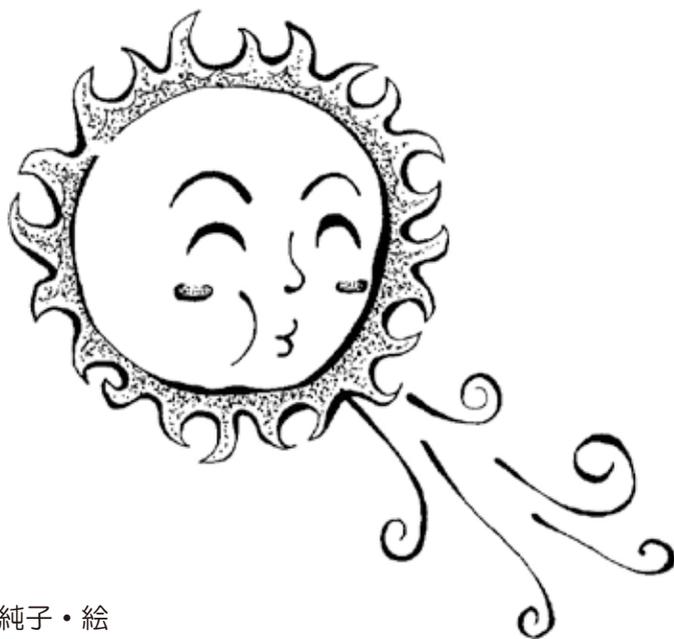


太陽・太陽風

50のなぜ



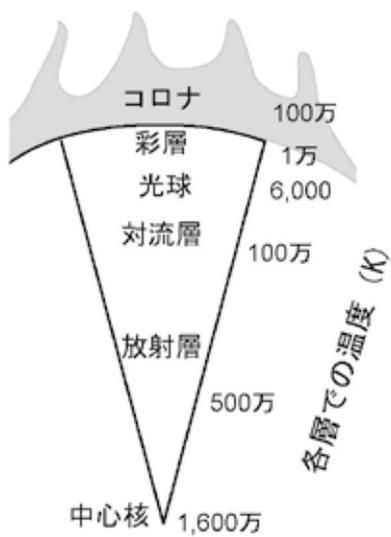
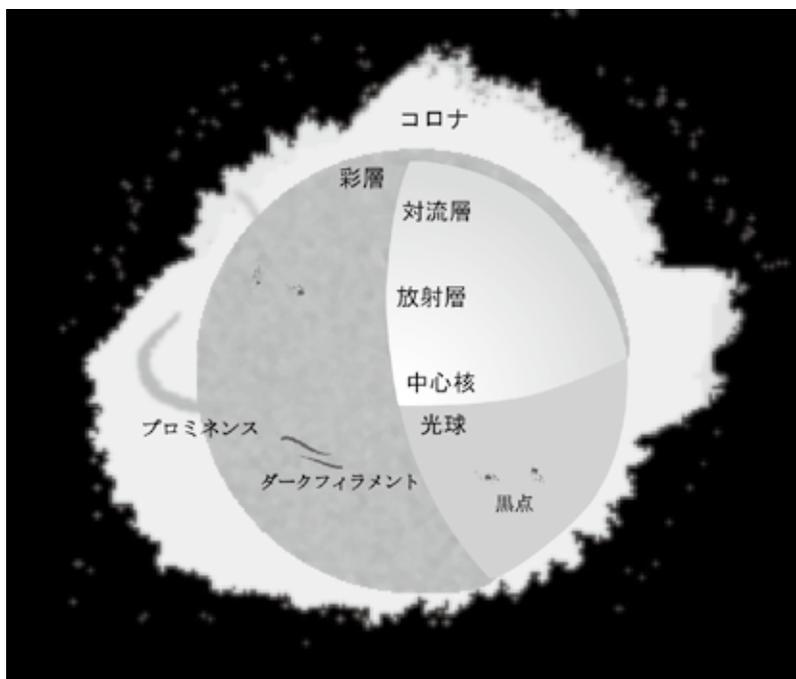
大村純子・絵

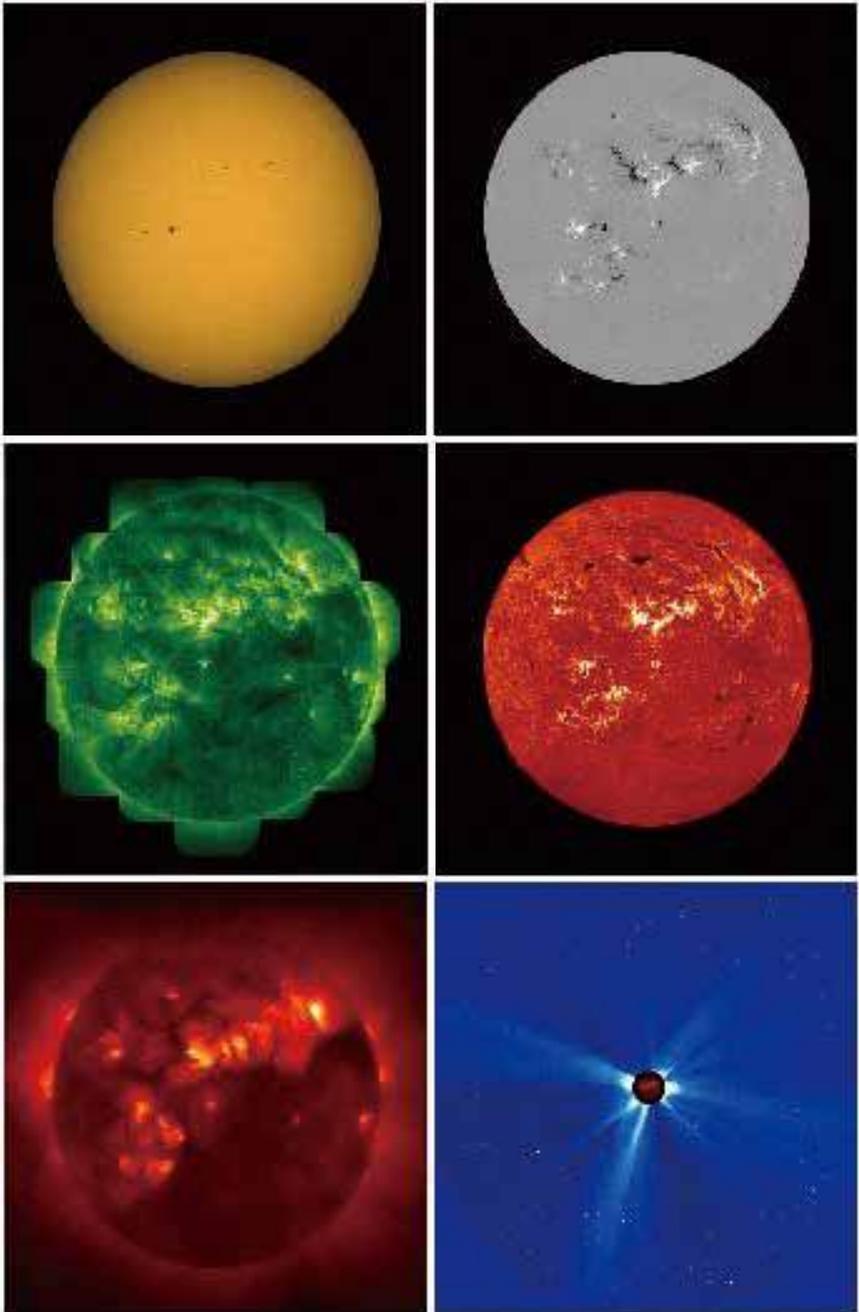
制作 名古屋大学宇宙地球環境研究所
りくべつ宇宙地球科学館 豊川市ジオスペース館

発行 名古屋大学宇宙地球環境研究所
<http://www.isee.nagoya-u.ac.jp/>

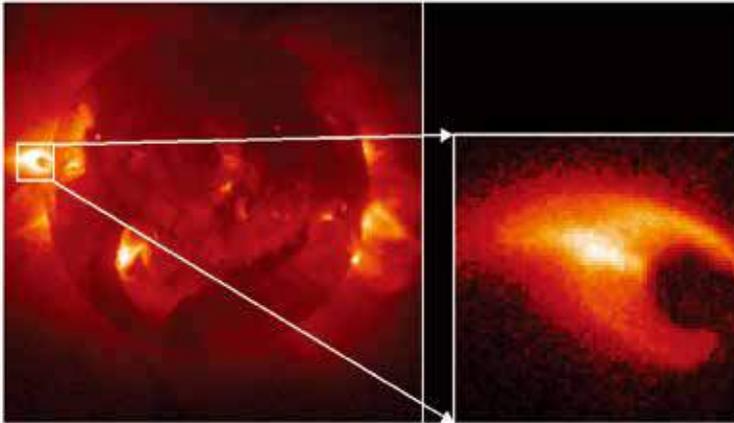


太陽の構造

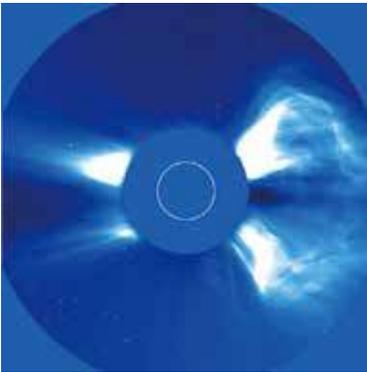




いろいろな波長で見た太陽。左列、上から順に、可視光（光球）、紫外線（低温コロナ）、X線（高温コロナ）。右列、上から順に、光球面磁場、水素輝線（彩層）、コロナグラフ写真。（BBSO, NASA, 宇宙航空研究開発機構提供）



× 線で観測されたフレア（宇宙航空研究開発機構提供）



SOHO 衛星で観測された CME
（NASA/ESA 提供）



2 種類の彗星のしっぽ

も く じ

太 陽

1. 太陽はいつ生まれたの？
2. 太陽はいつまで生きているの？
3. 太陽はどのくらい大きいの？
4. 太陽は地球からどのくらい離れているの？
5. 太陽はなんでできているの？
6. 太陽みたいな星はいっぱいあるの？
7. 太陽の中心はどうなっているの？
8. 太陽の表面は熱いの？
9. 太陽からはどんな光が出ているの？
10. 太陽の観測はいつ始まったの？
11. 太陽は自転しているの？
12. 太陽に磁石があるってどういうこと？
13. 太陽の磁場はどうなっているの？
14. 黒点はなぜ黒いの？
15. 皆既日食はどうして起きるの？
16. コロナはどうやって見るの？
17. 太陽コロナはどうして熱いの？
18. プロミネンスってなに？
19. 太陽フレアってなに？
20. 太陽フレアが起きるとどうなるの？
21. 太陽フレアはいつ起きるの？
22. 太陽から飛んでくる粒子は危険なの？
23. コロナからはガスが飛び出しているの？
24. CME が起きるとどうなるの？
25. コロナに穴があるってほんと？
26. 太陽の内部はどうやって調べるの？
27. 黒点の数はいつも同じなの？
28. 太陽はいつも同じ明るさなの？
29. 太陽活動が下がると地球はどうなるの？
30. 過去の太陽活動をどうやって知るの？

太 陽 風

31. 太陽風ってなに？
32. 太陽風はどうやって発見されたの？
33. 太陽風は目で見ることはできないの？
34. 太陽風を吹き出し続けたら、太陽はなくなるの？
35. 太陽風はどうして吹くの？
36. 太陽風はどこまで吹いているの？
37. 太陽風の速さはどれくらい？
38. 太陽風にも嵐はあるの？
39. 太陽風は熱いの、冷たいの？
40. 太陽風で宇宙ヨットは走るの？
41. 太陽風（惑星間空間）の磁場はどうなっているの？
42. もし太陽風がなかったら？
43. 太陽風が地球磁場に当たるとどうなるの？
44. 太陽から地球へくるエネルギーは？
45. 太陽風は地球の環境に影響しているの？
46. 太陽風は、人工衛星や探査機でどのくらい観測されているの？
47. 太陽の近くを観測する工夫は？
48. 太陽風は地球上から観測できるの？
49. 太陽風の到来を予報できるの？

50. 宇宙には風がいっぱい！

1. 太陽はいつ生まれたの？

「太陽」と聞いて、どんなイメージが浮かびますか？ 地球の生命にとってかけがえのないエネルギー源であることから、「母なる太陽」という言い方をしますね。“You Are My Sunshine”（ユ-・アー・マイ・サンシャイン：あなたは私の太陽）という歌のように、太陽を愛情にたとえたりもします。ギリシア神話の世界では、太陽の神様と呼ばれるヘリオスとアポロンはどちらも男の神様ですから、たくましいお父さんでしょうか。

太陽は、今から約 46 億年前に誕生したと考えられています。銀河系内に漂っていたガスが徐々に集まり、集まると重力によってまわりのガスを引き寄せ、しだいに 1 カ所に大きなガスのかたまりができました。それが太陽の原型です。

太陽の年齢と人類の年齢を比べてみましょう。現在の太陽が 46 歳だとすると、人類が活動を開始してからの数百万年は、わずか 10 時間にもなりません。想像もできないほど長い間、太陽は輝き続けてきたこととなります。



2. 太陽はいつまで生きているの？

太陽にも寿命があります。それでは、これからどれくらいの間、太陽は輝き続けるのでしょうか。星（恒星、つまり自らのエネルギーによって光を放つ天体）の寿命は、その質量で決まっています。太陽程度の質量を持つ恒星の寿命は、理論的に 100 億年くらい。太陽の現在の年齢は約 46 億年ですから、これからまだ 50 億年以上は輝き続けると考えていいでしょう。

現在の太陽は、人間にたとえると、働きざかりの中年といったところでしょうか。人類が存在している近い将来に、太陽の寿命が尽きる心配はまずありません。



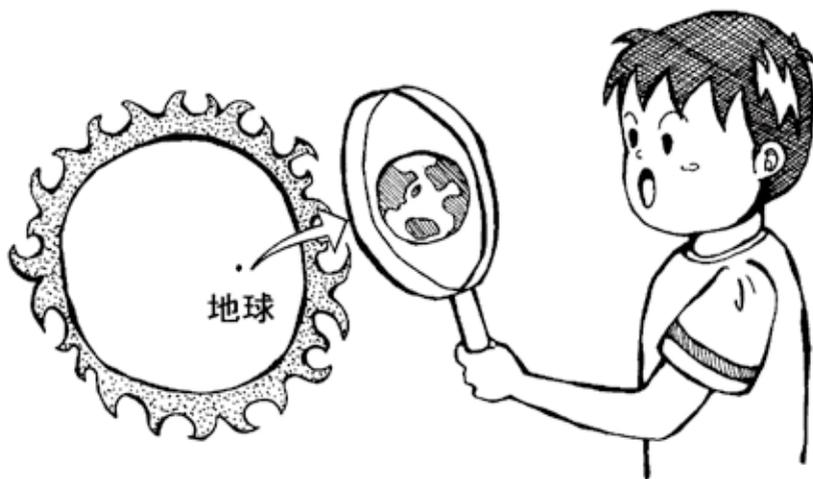
3. 太陽はどのくらい大きいのか？

5 円玉を親指と人差指でつまんで、手を伸ばして見て下さい。
5 円玉の穴の大きさ、それが太陽の見かけ上の大きさです。地球から見る太陽の直径は、角度でいうと約 0.5 度しかありません。

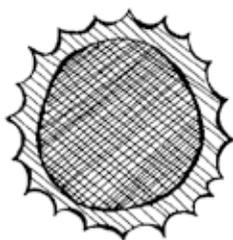
このように見かけ上は小さいのですが、それは太陽が遠くにあるためです。太陽の直径は、実は地球の約 109 倍、約 140 万 km もあります。もしも太陽の周りを旅するとしたら、飛行機を使ってノンストップで飛んでも、200 日近くかかってしまいます。

太陽の質量は地球の約 33 万倍もあり、実に太陽系全体の質量の 99%以上を占めているのです。地球よりもずっと大きな木星や土星などの惑星を集めてみても、太陽に比べるとずっとずっと小さいのですね。

(けっして、太陽を直接見ないでください！目を傷める危険性があります。)



4. 太陽は地球からどのくらい離れているの？



4000年



50年

太陽は遠くにあるために小さく見えているのですが、では、どのくらい遠くにあるのでしょうか。

地球と太陽までの距離は、約1億5000万km (1天文単位=1AU) あります。と言っても、実感がわきませんね。例えば、時速300kmの新幹線で旅行したとすると片道50年以上、時速4kmで歩いたとすると、何と片道4000年以上もかかってしまいます。秒速30万kmという光の速度でも約8分かかります。今、私達が見ている太陽の光は、約8分前に太陽を出発してきた光ということになります。太陽はすごく遠くにあるんですね。

6. 太陽みたいな星はいっぱいあるの？

私たちの地球にとって、太陽はたった1つのかけがえのない存在ですが、広い宇宙から見れば、ごく平凡な恒星の1つにすぎません。宇宙には、太陽のような星はそれこそ星の数ほどあるでしょうし、その中には、太陽と同じように、地球のような惑星を持つ星もきっとあることでしょう。

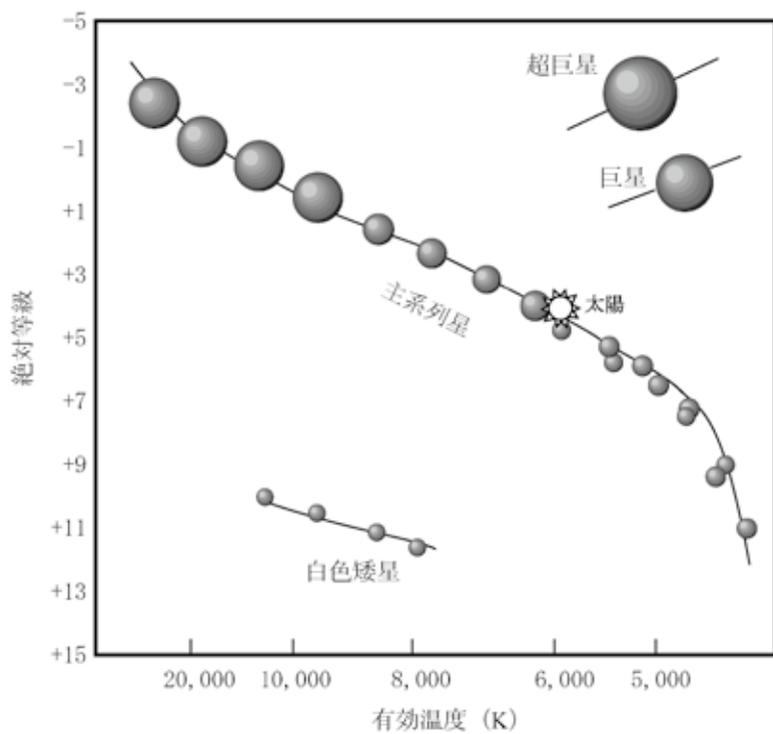
右の図は、恒星を明るさと温度で分類した、ヘルツスプリング-ラッセル図という図です。デンマークのヘルツスプリング（Herzsprung）とアメリカのラッセル（Russell）が、独立に求めたのがこの関係図で、彼らの名前をとってHR図と呼ばれています。この図の縦軸は、恒星の絶対光度です。同じ明るさの星でも、距離によって見かけの明るさは違いますね。この図に示したのは、星を同じ距離においたときの「本当の明るさ」のことで、それを絶対光度と言います。横軸は、恒星の有効温度（星の表面から放射されるエネルギー量を温度に換算したもの）です。有効温度に使用される温度の単位は、絶対温度と言って、

$$\text{絶対温度 (K)} = \text{摂氏で測定される温度 (C)} + 273.15 \text{ 度}$$

という式で表される温度です。

図で、斜めに帯のように星が存在する領域があります。これは、主系列星と呼ばれる星のグループ。太陽もこのグループに属しています。太陽は平凡な星にすぎないといわれる理由がお分かりでしょう。

恒星は進化の中で、主系列星から赤色巨星、そして、質量によっては白色矮星（わいせい）になります。図の中にそれらの領域が見られますね。HR図は、恒星の種類や年齢を決めるときに非常に役に立ちます。



星の明るさ（縦軸）と温度（横軸）の関係を示す図。星の性質を表わすのによく使われます。

7. 太陽の中心はどうなっているの？

太陽の中心付近は、高密度の水素で形成された約 1600 万度の高温の世界。そこでは、4 個の水素原子核が 1 個のヘリウム原子核に変わる核融合反応が起きていて、その際に質量がエネルギーに転換されています。消費される水素の量は、毎秒約 6200 億トンという莫大なものですが、太陽全体から見るとごくわずか。この核融合で発生したエネルギーは、放射、対流などによって太陽表面まで運ばれます。

地球でも、核融合によってエネルギーを生み出そうとする試みが行われていますが、まだ実用化に成功した例はありません。



8. 太陽の表面は熱いの？



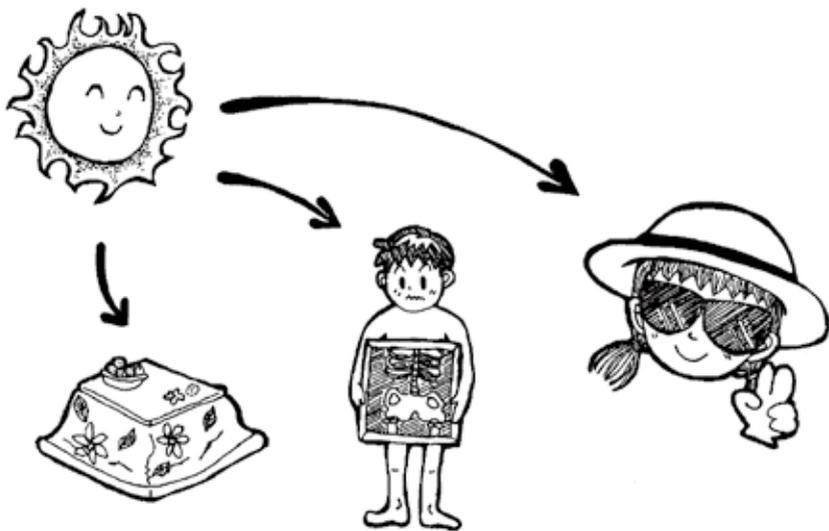
真冬でも、日なたにいと暖かいですね。日なたぼっこをしながらの昼寝なんて、最高！ 太陽からは熱が届いているのです。

それでは、太陽の表面は、どのくらいの温度になっているのでしょうか。太陽は、中心からの距離によって温度がずいぶん変化します。私達がふだん見ている太陽は、光球（こうきゅう）と呼ばれる大気の層で、そこを太陽表面だと考えると、その温度は絶対温度で約 5780 度（K）にもなります。ちなみに、1 気圧のもとでの鉄の融点（固体から液体になる温度）は約 1800 度、沸点（液体から気体になる温度）は約 3100 度ですから、太陽の表面はすごい高温ですね。

9. 太陽からはどんな光が出ているの？

太陽から一番多く出ている光は、人間の目に見える可視光です。プリズムに太陽の光を通すと、虹と同じ7色の光の帯が見える、という実験をしたことのある人は多いのではないのでしょうか。

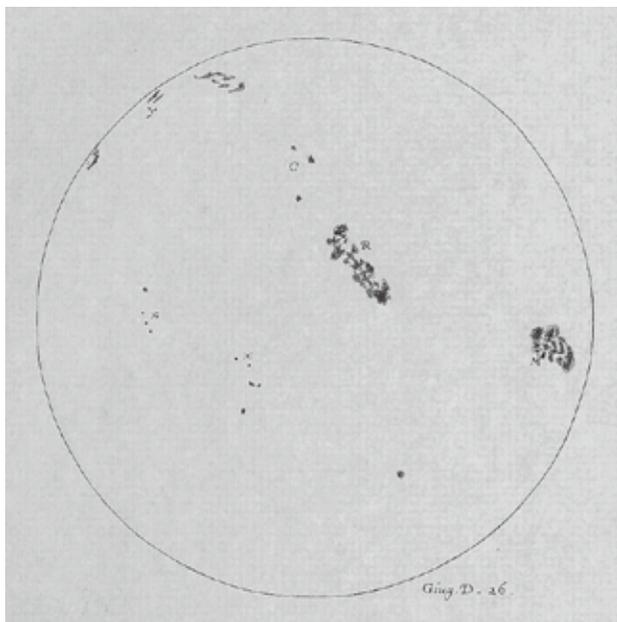
そのような目に見える光の他に、太陽からは日焼けの原因になる紫外線、こたつのようにものを暖める働きのある赤外線、それから、レントゲン撮影に使われるX線、通信に使われる電波など、さまざまな光（電磁波）が放射されています。しかし、人間にとって有害な紫外線やX線は、地球の大気で吸収されたり散乱されたりして、地表にはほとんど届きません。私達生命は、地球の持つバリアでしっかりと守られているのです。



10. 太陽の観測はいつ始まったの？

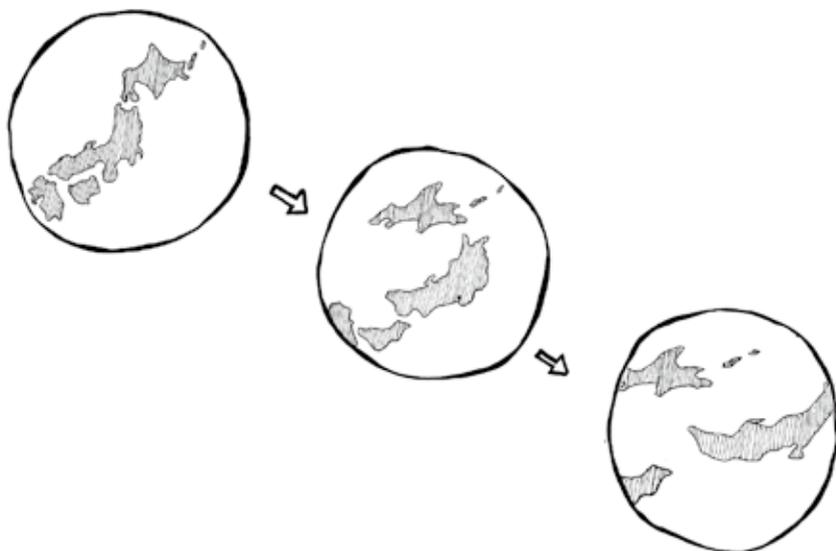
人類の誕生以来、太陽を眺めるという行為は幾度となく行われてきました。2000年以上前の書物の中にも、太陽に関する記述はいくらでも見つかります。しかし、望遠鏡を使った天文学的な観測の始まりは、17世紀のガリレオによってもたらされました。彼は望遠鏡を太陽に向けて、太陽表面の黒いしみ、すなわち太陽黒点を観測し、毎日その変化をスケッチしました。それまで完全なものであると信仰されてきた太陽が、科学の対象の1つになった瞬間です。

ガリレオの黒点スケッチは現在でも、過去の太陽活動を研究する上で、有効なデータとして活用されています。



ガリレオによる太陽黒点のスケッチ

11. 太陽は自転しているの？



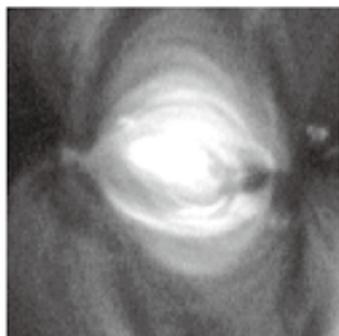
地球が自転していることは、太陽や星の動きで実感できますね。それでは、太陽も地球と同じように自転しているのでしょうか？ ガリレオが望遠鏡で太陽を観測したとき、黒点が毎日、少しずつ東から西に位置を変えていることに気づきました。これが太陽の自転の発見です。

しかし、太陽は地球のような固体ではなくガスの集合体なので、奇妙なことが起きています。緯度によって、自転の速度が違うのです。赤道付近は約27日で1周しているのですが、極の近くでは1周30日以上もかかります。このような自転を差動回転といいます。もしも地球でこんなことが起きていたら、どうなると思いますか？

12. 太陽に磁石があるってどういうこと？

太陽の内部では、磁力が作られています。太陽の内部で作られた磁力線のかたまり（磁力管）は、ゆっくり浮上して表面に現れます。表面でその磁力管を輪切りにした断面が、実は黒点なのです。したがって、1つの黒点は、磁石の1つの磁極に対応します。黒点は通常、N極とS極のペアで現れますが、それはこういう理由からなのです。黒点上空のコロナ（太陽の外側の大気）をX線で見てみると、そこには、ペアとなっている黒点をつなぐような磁気ループが輝いています。まさに、棒磁石の上に砂鉄をまいたときにできるような模様が見えるのです。

太陽表面に、黒点が何個も同時に存在するときもあります。そのようなとき、太陽表面は磁石だらけになっているわけですね。マグネトグラフと呼ばれる観測装置を用いると、太陽表面にちらばっている磁石の強さを測定することができます。今まで観測された一番磁力の強い黒点では、その磁束密度は4000 Gaussにもなります。これは、日本あたりの磁場の強さの、1万倍以上です。

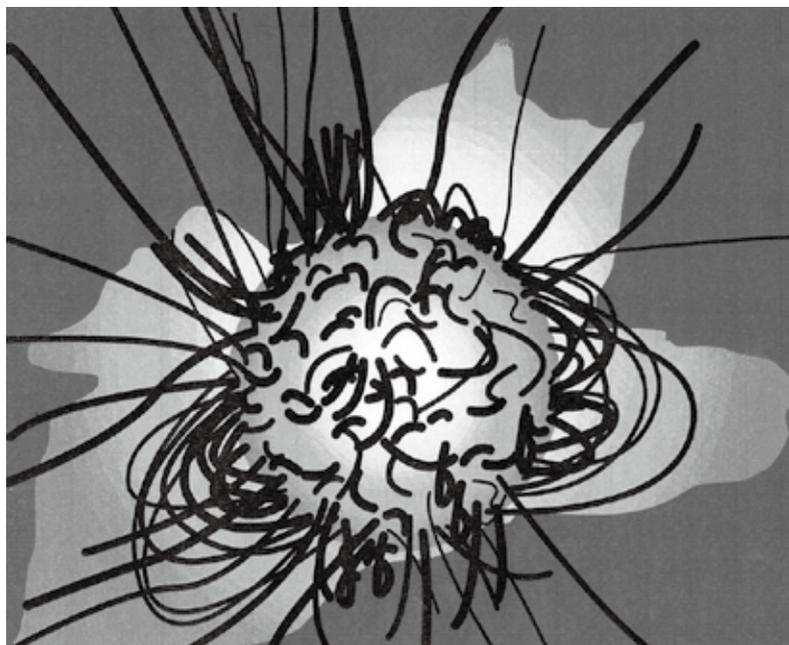


左は可視光で観測した黒点のペア。右は同じ領域のX線写真。黒点のペアをつなぐ明るいループ（磁力線）が見えます。

13. 太陽の磁場はどうなっているの？

地上では、方位磁石のN極が北極（正確には北磁極）を指すことは知っていますね。地球の北極に磁石のS極があるため、方位磁石のN極が引きつけられるのです。南極には磁石のN極があり、地球は、それ自身が1つの大きい磁石になっています。

では、太陽では磁場はどのようになっているのでしょうか。黒点が非常に強い磁石の磁極に対応することは、12で分りましたね。黒点は、同時に何個も現れることがあります。そのようなとき太陽表面は、強い磁石が何個もちりばめられた、複雑な磁場構造を持つことになるのです。下図の黒い線が太陽表面の磁力線です。複雑に入り乱れた磁力線構造が分かるでしょう。



黒点は、太陽全体から見ると、スケールの小さい磁石ともいえます。というのも、もっと大きいスケールの磁石を太陽は持っているからです。つまり、北極域と南極域には、基本的に地球の磁石のように、それぞれN極・S極が存在しています。その極性は、後で述べる太陽の周期活動に強く関係していて、周期的に反転します。この大きなスケールの磁場は、黒点に比べるとずっと弱いものですが、スケールが大きいので、太陽から遠く離れたところにまで影響を与えます。

また、上に述べた領域以外にも、弱いながら磁場（数ガウス以下）があることが分かっています。太陽面はどこも磁石だらけなのです。

（左図）目には見えない太陽磁場の様子を模式化して表したイラスト。中央のボールのようなものが太陽の光球面です。そこから出ている黒い線が磁力線で、それぞれがN極からS極につながっています。大部分の磁力線は太陽から出て太陽に戻っていますが、中には、遠くまで伸びた、太陽の近くでは閉じていない磁力線も見えます。背景の明るさはコロナの密度を示していて、明るい領域ほど密度が大きくなっています。ループ状に閉じた磁力線の領域でコロナの密度が大きくなっていることが分かります。

14. 黒点はなぜ黒いの？

黒点は、太陽の顔（表面）についたほくろやしみのように見えますね。黒点が黒く見えるのは、黒点の温度がまわりに比べて低くなっているためです。その原因は、磁石の力が強すぎて、内部からのエネルギーの流れを妨げているためではないか、と考えられています。黒点に妨げられたエネルギーの一部は、黒点のまわりに運ばれて、黒点の周囲に、白斑（はくはん）と呼ばれる明るい領域を形成します。白斑は黒点ほどはっきりした構造ではないので、見づらいなのですが。

黒く見えても、実は黒点は光を出しているんです。まわりの明るい部分を隠して、黒点だけ空に置いたとします。すると、満月よりもずっと明るく輝くはずですが。黒く見えるのは、まわりが明るすぎるせいでもあるのです。



黒いのに、
まぶしいっ！



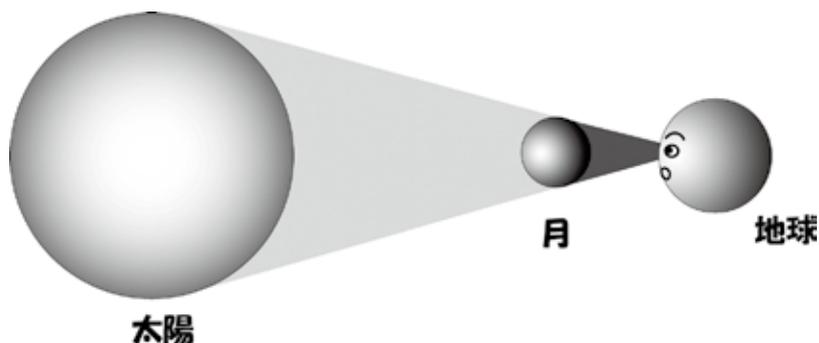
15. 皆既日食はどうして起きるの？

皆既日食では、太陽が少しずつ欠けていくとともに、あたりが暗くなり、やがて太陽は姿を隠してしまいます。太陽がなくなってしまうのを見た昔の人は、どんなに驚いたことでしょうか。日本の神話には、太陽の神様である天照大神が天の岩戸に隠れたために、世の中が真っ暗になり混乱してしまった、というお話がありますが、これは皆既日食から生まれたという説もあります。

月が太陽と地球の間にちょうど入ったとき、つまり、地球が月の影にすっぽり入ったとき、皆既日食が起きます。地球から見た太陽と月の見かけ上の大きさはほとんど同じなので、月が太陽をぴったり隠すことができるというわけ。太陽は月に比べて 400 倍も大きいのですが、400 倍も遠いところにあるので、このような関係が成り立つのです。面白いですね。

2009 年 7 月 22 日には、日本でも鹿児島県のトカラ列島・奄美大島で皆既日食が見られました。

ところで、皆既日食は、太陽の外側の気体であるコロナを調べるのに、非常に役に立ちます。太陽コロナは、太陽表面に比べてずっと暗いので、ふだんは見ることはできません。でも、明るい太陽表面を月が隠してくれると、そのおかげで太陽コロナを見ることができるのです。太陽コロナはオーロラのふるさとです。



16. コロナはどうやって見るの？

コロナは非常に薄い大気です。皆既日食のとき、月に隠れた太陽の外側に、淡く広がるコロナを肉眼でも見るすることができます。

それでは、皆既日食のとき以外は、コロナを見ることはできないのでしょうか。実は、いくつか見る方法があります。月の代わりに人工的な円盤を使って太陽を隠す工夫をした、コロナグラフという望遠鏡がその1つ。それでも大気の散乱があると見づらいので、高い山の上に置かれたり、人工衛星に取りつけられたりします。

また、コロナは約 100 万度の高温のガスで、X線を放射していますので、そのX線を直接観測する方法もあります。そのようなX線望遠鏡を使うと、太陽の縁の外側だけではなく、太陽全面のコロナの観測ができます。ただし、X線望遠鏡は、人工衛星やロケットなどに取りつけられる必要があります。地球の大気はX線を散乱/吸収しますので、太陽からのX線を地表で観測することができないからです。



1997年にシベリアで見られた皆既日食の写真。月に隠されて真っ黒になった円盤の外側に、淡い光が広がっています。これがコロナです。

17. 太陽コロナはどうして熱いの？



火のついた暖かいストーブを想像して下さい。ストーブから離れていくと、当然温度は下がりますね。太陽でも、中心は1600万度もの高温ですが、外側へ向うにしたがって温度は徐々に下がり、光球（表面）では約6000度になります。しかし、その外側に広がるコロナでは、逆に100万度まで上がっています。どうしてこのようなことが起きるのでしょうか？ コロナ加熱の謎として、今でも太陽研究者を悩ませています。

この問題を解くことを主な目的にして、太陽観測衛星 Solar-B が製作されています。3台の観測装置を使って、光球、彩層（さいそう）、コロナを同時に詳しく観測し、光球からコロナまでのエネルギーの流れを明らかにしようとする衛星です。日本が中心になり、アメリカ、イギリスなどの諸外国とも協力して進められているプロジェクトです。近い将来、コロナ加熱の謎に答えが出るかもしれませんね。

18. プロミネンスってなに？

水素原子の出す特別な赤い光で観測すると、太陽の縁の外に、盛り上がった構造を見ることができます。下の写真を見て下さい。まるで炎が噴き出しているようですね。これがプロミネンスで、日本語では紅炎（こうえん）と呼ばれます。

太陽表面（つまり光球）の上には、彩層と呼ばれる大気の層があり、その上にはコロナが広がっています。彩層の濃いガスが、採層よりもずっと希薄なコロナの中へ伸び、磁石の力（磁力線）で支えられて持ち上げられたものが、プロミネンスです。

太陽の縁ではなく、中央付近にあるプロミネンスは、暗い筋状に見えます。これは、暗条（あんじょう、つまりダークフィラメント）と呼ばれています。プロミネンスの物質が光球からの光を吸収してしまうために、暗く見えるのです。プロミネンスとダークフィラメントは、実は同じものなのです。

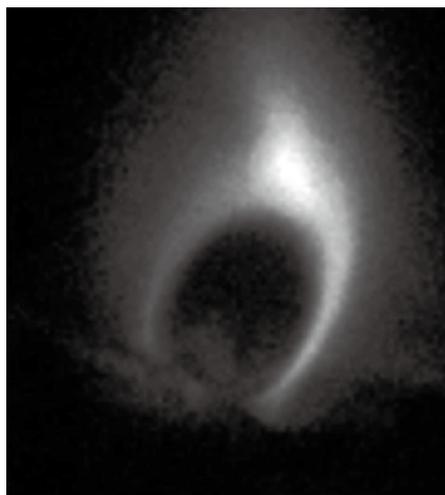


京都大学飛騨天文台で撮影されたプロミネンス

19. 太陽フレアってなに？

太陽フレアは、太陽コロナ中で起きる爆発現象。太陽系内で起きる激しい活動現象です。最大級のフレアでは、どれくらいのエネルギーが発生すると思いますか？ そのエネルギーはなんと、10分ほどのごく短い時間に、日本中で1年間に発電される電気エネルギーの総量の、100万倍にも相当するのです。その源は、太陽コロナ中の磁場のエネルギーだとされています。このエネルギーをうまく使うことができれば、地球上でのエネルギー問題などすぐに解決できそうですね。

下は、大型のフレアのX線写真です。ろうそくの炎のような形に輝いているのが、分るでしょう。1000万度くらいの高温のガスが、こんな形に分布しているのです。炎の形の両端にある足の先は、異なる極性を持った磁極につながっています。このろうそくの炎のような形が、磁場のエネルギーがコロナ中で解放されていることを指し示していると考えられています。

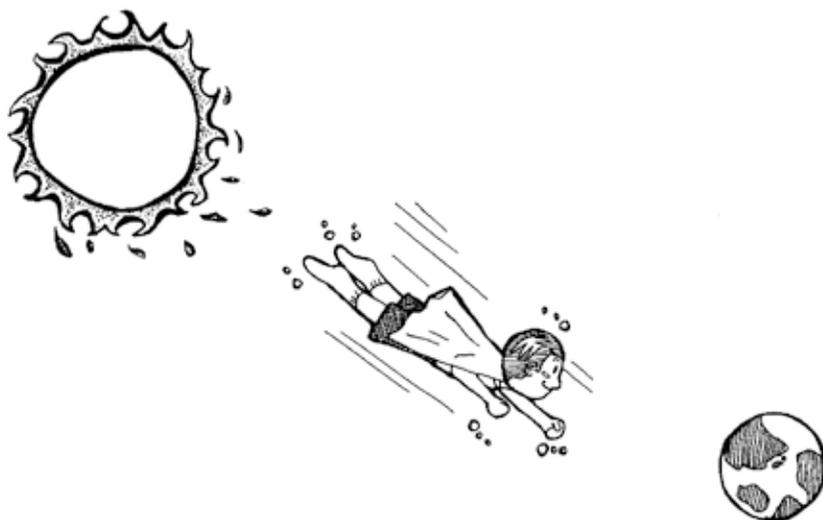


ようこう衛星によって観測された1992年2月21日に発生した太陽フレアのX線写真。フレアのサイズは10万kmにもなります。

20. 太陽フレアが起きるとどうなるの？

太陽フレアが発生すると、1000万度を超える高温のガスが作られます。そこからは強力なX線、紫外線、電波が放射され、フレア発生前の静かなときと比べると、放射量はときには1000倍にもなります。その急激な増加が、地球の超高層大気の状態を激しく変化させる原因になることもあります。

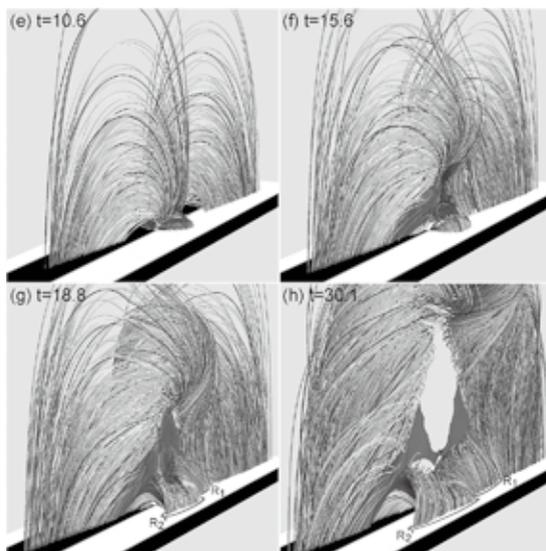
また、フレアの発生時には、ふだんは太陽に存在しない、非常にエネルギーの高い粒子も生成されます。例えば電子の場合、光速の3分の1の速度にまで加速されるものもあります。そのような粒子の一部は、太陽から惑星間空間に飛び出し、地球周辺にまで飛来することがあります。



21. 太陽フレアはいつ起きるの？

フレアのエネルギーの源は、なんだと思いますか？ 答えは、太陽の磁場です。磁場のエネルギーが溜まらなければ、フレアは起きません。エネルギーの溜まり具合については、太陽面の磁場を観測して計算する方法の開発も行われており、以前に比べると、ずっとよく分るようになってきました。しかし、溜まったエネルギーが、いつ、どのようなきっかけで解放されるかについては、まだ研究が進行中で正確には分っていません。

太陽フレアが発生すると、宇宙通信が乱れたり、人工衛星の計器が壊れたり、軌道が狂ったり、発電所がダメージを受けたり、人間の生活に影響を及ぼします。フレアの予報を目指した研究も、精力的に行われています。



名古屋大学宇宙地球環境研究所では、太陽フレア発生予測を目指した研究も行っています。図は、フレアの発生とその時間発展を再現した計算機シミュレーションです。

22. 太陽から飛んでくる粒子は危険なの？



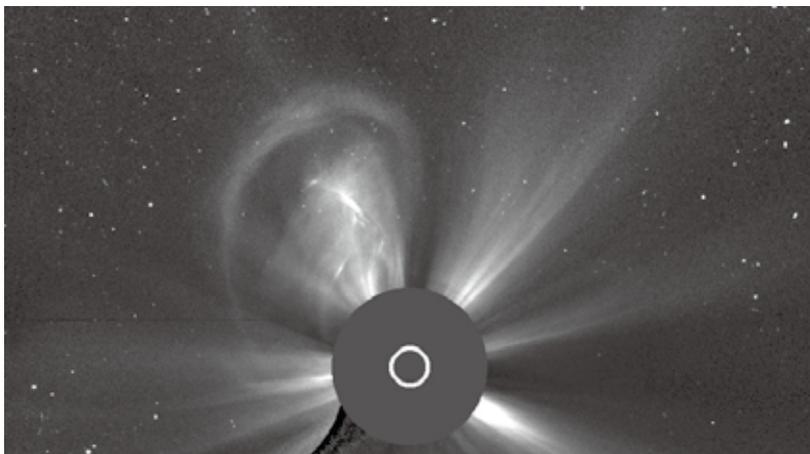
太陽からは、太陽風と呼ばれる風がいつでも吹き出しています。この風以外にも、太陽フレアなどの突発的な現象に伴って、非常に高いエネルギーを持った粒子が、惑星間空間に飛び出すことがあります。

もちろん、それらは地球に向かって飛んできて、地球の近くの宇宙空間で働いている人に障害を与えることもあります。スペースシャトルや宇宙ステーションの宇宙飛行士が、船外活動をしているとき被曝（ひばく）する危険性もあるのです。船内にいたとしても、安心はできません。船体の金属との作用により、二次的に作られた粒子を浴びる危険性が指摘されています。近い将来、一般の人が宇宙旅行を行うようになるかもしれませんが、このような危険への対策を、もっとしっかり行う必要があります。

23. コロナからはガスが飛び出しているの？

そうです。16 で説明したコロナグラフを用いると、太陽から惑星間空間へすごい速さで飛び出して行く、ガスのかたまりをときどき見ることができます。これは、コロナ質量放出 (Coronal Mass Ejection: CME) と呼ばれています。コロナのガスのかたまりが、磁力線といっしょに、秒速 1000 km にも達するような速さで惑星間空間に飛び出して行く現象です。

1 回の噴出で飛んでいくガスの質量は、約 100 億トン。太陽で起きる現象は、どれもスケールが大きいですね。CME は、太陽活動の活発な時期 (27 を参照のこと) には、毎日起きています。

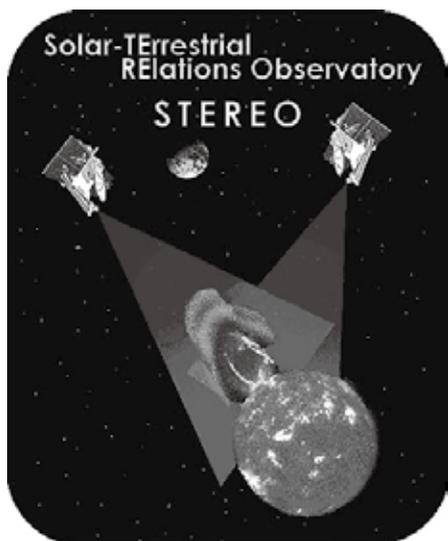


SOHO 衛星 (ヨーロッパ宇宙機構 ESA と米航空宇宙局 NASA の協同) に搭載されたコロナグラフが撮影したコロナ質量放出。

24. CMEが起きるとどうなるの？

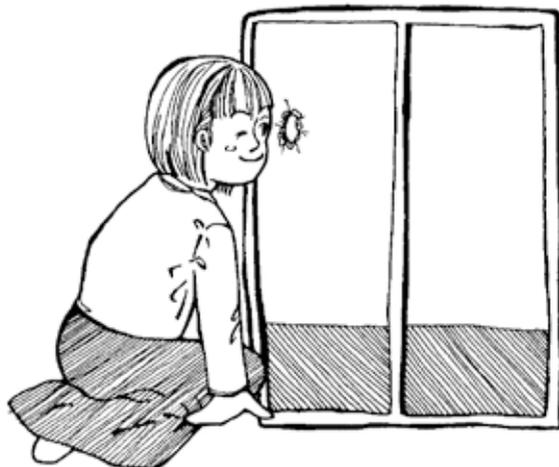
CME がたまたま地球の方向に飛び出すと、2-3 日かけて地球にやってきます。CME は、ガスと同時に磁力線も太陽から運んでくるため、地球の磁場と相互作用をして、地球の磁場の勢力（磁気圏）にエネルギーが流れ込んでくることがあります。これが、磁気嵐やオーロラを引き起こす、要因の1つと考えられています。したがって、地球方向に飛んでくる CME を観測することは、地球周辺の宇宙空間の環境にとって重要なテーマです。

ところで、太陽から“横に”飛び出す CME は観測しやすいのですが、地球に向かって飛んでくる CME は、コロナグラフを用いても観測しづらいものです。そこで、太陽と地球を結ぶラインからずれたところに、CME を観測するための人工衛星を配置して、地球に向かって飛んでくる CME を“横から”観測しようという試みが計画されています。



NASA が計画中の STEREO 衛星。2つの太陽観測衛星で、太陽を違う角度から観測し、太陽コロナや CME の立体構造を探ります。

25. コロナに穴があるってほんと？



ほんとです。コロナは、100万度にも達する高温のガス。そのような高温のガスからは、X線と呼ばれる光が放射されます。太陽全面のX線写真を見ると、極域に暗い部分があります。これがコロナホール（コロナの穴）です。「オーロラ50のなぜ」27で、オーロラの原因の1つがコロナホールだというお話しをしましたね。覚えていますか？

コロナホールは、基本的に単極（N極ならN極だけ、S極ならS極だけ）の磁場領域になっているので、“閉じた”磁力線が存在しません。磁力線に閉じ込められているガスが存在しないため、暗く見えているのです。

コロナホールは、1970年代にNASAのスカイラブ衛星によって、初めて観測されました。そのときは、人間が実際に衛星に乗り込んで、X線カメラで太陽を撮影していました。その後1990年代には、日本の太陽観測衛星「ようこう」がCCDカメラを用いて、自動的に太陽のX線写真を何百万枚も撮影し、コロナホールの研究が飛躍的に進みました。

26. 太陽の内部はどうやって調べるの？

まず、地球の内部のことはどうやって調べているのか、知っていますか？ 地面の下のずっと深いところまで行くなんて、とうてい無理ですよ。

実は、地震の波を利用しているのです。地震のときに発生する波の伝搬時間、伝搬経路によって、内部の状態が液体か固体か、密度や組成はどうなっているのか、推測できます。太陽でも、これと同じ手法が使われます。太陽表面の振動のパターンを、長時間連続して正確に観測することで、太陽内部の状態を推測しようという試みです。地球での地震学に対比させて、このような学問を日震学と呼んでいます。

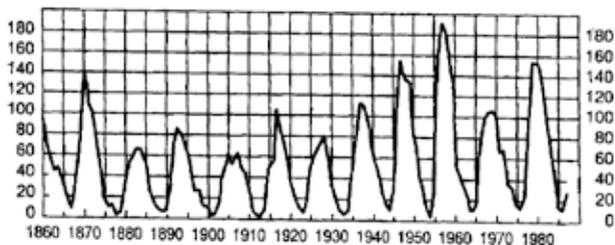
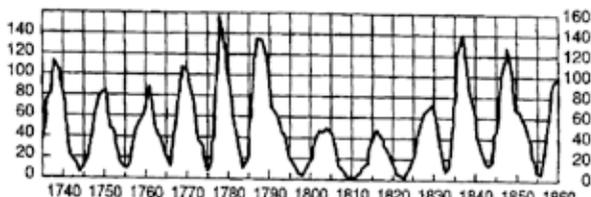
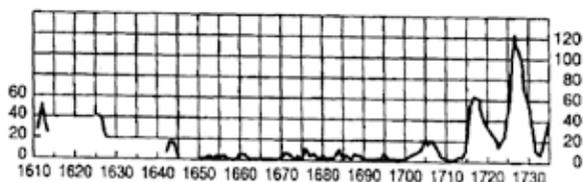


27. 黒点の数はいつも同じなの？

いいえ、違います。黒点の数や形は、時々刻々と変化しています。黒点の寿命は、数日から数カ月までさまざまです。それに、地球から見える太陽は半面だけなので、太陽の自転で黒点が裏側に行ってしまうと、見かけ上は数が減ることになります。

そのような変化の他に、11年という更に長い周期で、太陽黒点数は変化しています。つまり、11年ごとに増えたり減ったりするのです。黒点数が多い時期を「太陽活動極大期」、少ない時期を「太陽活動極小期」と呼びます。最近では、2009年ごろが極小期、2012年から2014年にかけて極大期でした。

太陽黒点数の変化

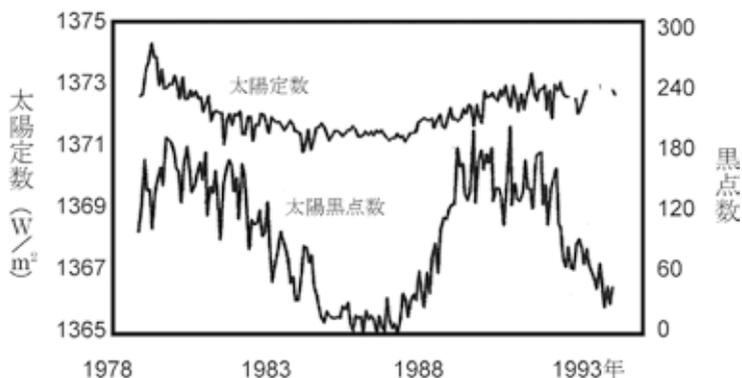


黒点数の変動のグラフ(1610年～)。17世紀には黒点がほとんど現れない磁気が約70年にわたって続いた。この時期、地球は寒冷化した(小氷河期)。

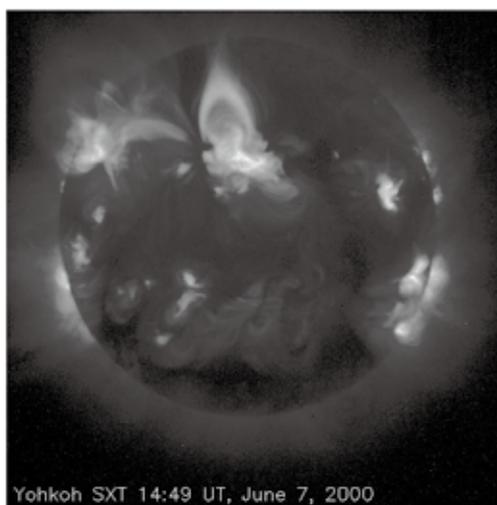
28. 太陽はいつも同じ明るさなの？

太陽は、いつも同じ明るさで輝いているように見えます。実際、太陽から地球に届く放射エネルギーの総量は太陽定数と呼ばれ、読んで字のとおり、変動しないと考えられていました。太陽定数は、毎分、 1cm^2 あたり、1.96 カロリーであると、学校で教わりましたね。しかし、太陽黒点数に11年の周期があるように、太陽定数も同じような周期で変動することが、1970年代後半からの人工衛星の観測で明らかになってきました。ただし、変動の大きさは0.1%くらいの、とても小さなものですが。

可視光の変動に対して、X線や紫外線の量は、太陽活動度によってもっと大きく変動します。極大期では、X線の量は極小期の100倍にもなります。右上の写真は、1992年から1999年の太陽のX線写真を並べたものです。極大期に近い1992年や1999年（両端の写真）では、コロナがX線で明るく輝いていますが、1996年ごろ（中央付近）では、暗い領域ばかりになっているのがはっきり分ります。



太陽黒点数と人工衛星（Nimbus-7）観測から得られた太陽定数。いずれも、月平均の値。



ようこう衛星によって撮影されたX線写真

29. 太陽活動が下がると地球はどうなるの？



ガリレオが望遠鏡で黒点を観測した後の 17 世紀中ごろ、数十年に渡って、黒点がほとんど現れない、太陽の磁気活動が異常に下がった期間がありました。この期間を、発見者マウンダーにちなんで、マウンダー極小期と呼びます。このとき地球上では、小氷河期とでも呼べそうな、寒い気候が続いたと言われています。ロンドンのテムズ川も凍ったという記録が残っています。

これ以前にも、似たような極小期がありました。1300 年ごろのウォルフ極小期、1500 年ごろのシュペーラー極小期です。太陽活動度の変化と地球の気候の変化は、長期的に見てどのような関係があるのでしょうか。これは、現在の主要な研究テーマの 1 つになっています。

30. 過去の太陽活動をどうやって知るの？

ガリレオによる黒点観測から今までの 400 年間については、太陽面のスケッチが記録として残っています。では、それより前の太陽活動は、どうすれば知ることができるのでしょうか。1 つの方法として、屋久杉のような長生きをした木の年輪を調べる方法があります。

どんな方法なのか、まずは銀河宇宙線から説明しましょう。宇宙のはるかかなたから飛来してくる高エネルギー粒子、銀河宇宙線。太陽活動度が上がると、地球に降り注ぐ銀河宇宙線の量が減るという関係が知られています。これは、太陽の強い磁場が、銀河宇宙線の流入を妨げるためです。さて、銀河宇宙線が地球大気と反応すると、放射性炭素がつくられます。ご存知のように、植物は光合成によって二酸化炭素を取り込みますね。この二酸化炭素には、宇宙線によってつくられた放射性炭素が含まれているのです。

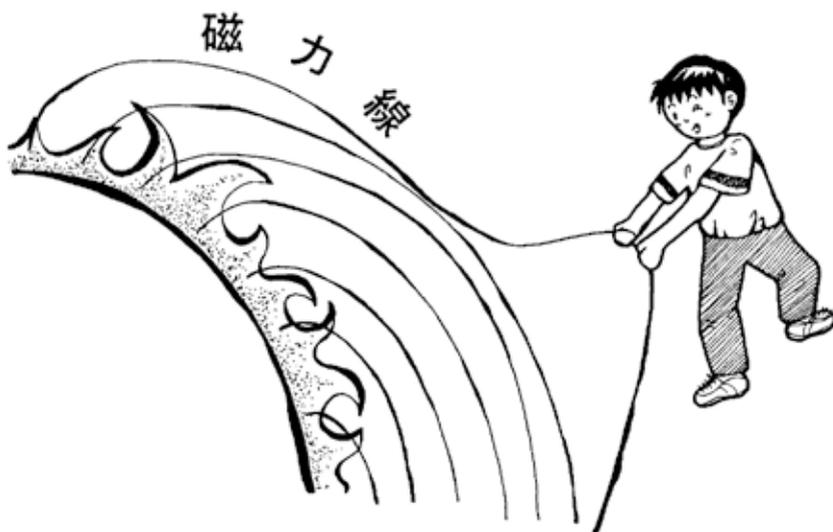
木の年輪を 1 年分ごとに調べて、放射性炭素の量を測定すれば、1 年ごとの宇宙線量が分ります。そうすれば、太陽活動度が推測できるというわけです。何千年にもわたって蓄積された極地方の氷からも、似たような方法で昔の太陽活動度を推測することができるんですよ。



31. 太陽風ってなに？

22 で触れた太陽風について、説明しましょう。コロナのガスは温度が 100 万度以上にもなるため、水素原子は陽子と電子に分解しています。陽子と電子を主成分とするコロナガスは、外に流れ出し、惑星間空間を毎秒 300 - 800 km の速さで吹いています。このガスの流れを太陽風と言うのです。

太陽風の成分のほとんどは、プラスの電気を持った陽子と、マイナスの電気を持った電子です。このような電気を帯びたガスをプラズマと言います。太陽風にはプラズマの他に、ヘリウムや酸素、シリコン、鉄など、重い原子のイオンが数パーセントほど混じっています。プラズマは磁力線を閉じこめる性質があるので、太陽風は、太陽の磁力線をも惑星間空間に引っ張り出されてきます。つまり、太陽風は磁気と電気を帯びたガスの流れなのです。



32. 太陽風はどうやって発見されたの？



昔は、惑星間空間は何もない真空だと思われていました。そして、太陽フレアが発生したときだけ、オーロラを光らせるものが宇宙空間に放出されると考えられていました。しかし、彗星の尾のたなびき方を調べたドイツの科学者ビヤマンは、惑星間空間には、太陽からの光のエネルギーの他に何かは流れている、と発表しました。1951年のことです。そして1958年、その何かは「太陽から流れ出した、電気を帯びたガス」であることを、アメリカのパーカーが理論的に予言しました。4年後の1962年には、金星に向けて打ち上げられたマリナー2号探査機による観測で、その予言の正しさが証明されたのです。太陽風、英語で solar wind の名づけ親は、このパーカーです。

なぜ、それまでこの風の存在が分らなかったのでしょうか。理由の1つは、地球の磁場が邪魔をして、私たちが観測できるほど近くまで太陽風が入って来られないからです。もう1つの理由は、次の「なぜ」でお話しましょう。

33. 太陽風は目で見ることはできないの？

太陽風を直接見ることはできません。目の前にある空気が見えないのと同じ理由です。「もの」が目に見えるためには、その「もの」が光を出したり、反射したりしなければなりません。太陽風は高温ですが、密度が非常に薄いために自分から光を出しませんし、太陽からの光は素通りしてしまいます。ですから、私たちの目で直接太陽風を見ることはできません。これが、探査機が打ち上げられるまで太陽風が見つからなかった、もう1つの理由です。

風の強い日を思い浮かべて下さい。どんなに強い風が吹こうと、空気はけっして目では見えません。でも、吹き飛ばされた葉っぱを見ると、部屋の中からでも、風がどちらの向きにどれくらいの強さで吹いているのか、何となく分ります。

太陽風の場合も、天体望遠鏡を使って間接的に、その流れを目で見ることができます。これには、彗星の尾に見られる面白い現象を利用します。彗星の尾をよくみると、通常2つに分かれています。2つの尾のうち1つは、白っぽく光る曲がった尾で、太陽の光の圧力でたなびいています。もう1つは、この白っぽい尾より暗く青みがかった光を出しながら、まっすぐにのびる尾。こちらは、太陽風によって吹き流されたものです。この青みがかった尾を根気よく観察していると、ときおりこぶのようなものができて、それが時間と共に移動して行くのが分ります。場合によっては、尾が途中でちぎれて、後ろに飛んでゆくこともあります。この移動は、太陽風の流れが引き起こしているのです。このような彗星の尾の観測から、太陽風の速度をはかることができます。



2種類の彗星のしっぽ（カラーページ参照）



太陽風に吹き流される彗星の尾。太陽は写真下方にあり、彗星尾部の右側にある塊は太陽風に引きちぎられた尾の一部で、太陽風の流れに沿って移動しています（矢印は編集部により追加）。

34. 太陽風を吹き出し続けたら、 太陽はなくなるの？

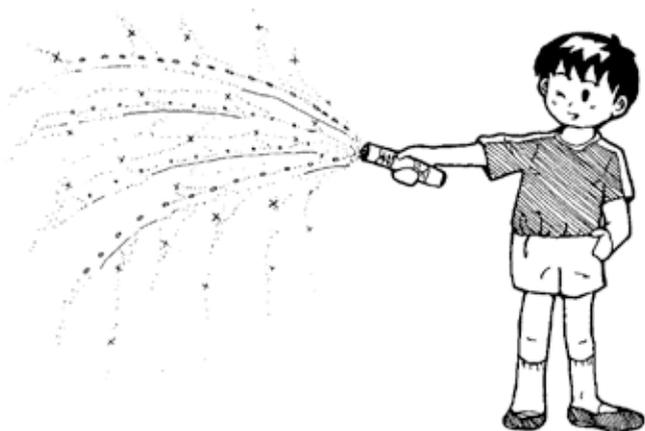
太陽は誕生して以来、ずっと太陽風を吹き出していると考えられています。そしてその量は、1秒間に100万トンという、ものすごい量。こんなにたくさん吹き出してしまうと、いつの日か太陽がなくなってしまうかもしれません。ちょっと心配になってきたので、計算してみましょう。

太陽が、太陽風を吹き出すことで1年間に失う質量は、30兆トン。一方、太陽の重さは30兆トンの70兆倍ですから、太陽がなくなるには約70兆年かかってしまいます。2でお話したように、太陽の寿命は残り50億年ぐらいですから、太陽風が吹いても、太陽はほとんど重さを変えません。

太陽がいかに巨大な星か、分りますね。皆さんも、電卓片手に計算にチャレンジして下さい。



35. 太陽風はどうして吹くの？



100 万度という高温のコロナガスは、強い圧力を持っていて、太陽の強力な重力を振り切って惑星間空間へと膨張し、吹き出すことができます。この惑星間空間へ吹き出したガスが、太陽風です。

では、太陽の重力は、太陽風が吹くのを邪魔しているのでしょうか。ちょっと意外かもしれませんが、実は、太陽風を高速に加速する役目をしているのです。花火の爆竹に例えると、分りやすいかもしれません。太陽の重力は、ほんの少しの火薬をぐるぐると包んでいる、紙筒の役目をしています。爆竹から火薬だけを取り出して火をつけると、ポツと小さな音で燃えるだけですが、紙筒で包まれた爆竹に火をつけると、強力な爆発をします。紙筒が、燃えた火薬の圧力を中に閉じこめ、外との間に大きな圧力の差を生み出し、限界に達したとき一気に爆発するからです。

太陽の重力は、コロナが膨張しようとする高い圧力を閉じこめ、惑星間空間との間に高い圧力差を作ります。この圧力差のおかげで、コロナのガスは秒速何百 km という超音速のガスとして、惑星間空間に吹き出すことができます。

36. 太陽風はどこまで吹いているの？

太陽風が流れている空間を太陽圏^{げん}heliosphere—ヘリオスの支配する空間と呼びます。ヘリオスとはギリシャ神話に出てくる太陽神。毎朝、東の空から戦車に乗って駆けあがり、大地を照らしていると言われていました。それではこの太陽圏、どこまで広がっているのでしょうか？

太陽風の圧力は、太陽から遠ざかるにつれて弱まります。そしてやがては、恒星間空間^{ただよ}を漂うガスの圧力と釣り合うところで太陽風の流れは止まります。ここをくわしく見てみましょう。太陽風は星間ガスとの衝突により、急に減速され太陽風の‘よどみ’ができます。この急に亜音速になる場所は終端衝撃波^{しゅうたんしょうげきは}、よどみはヘリオシース、流れがなくなる太陽圏の端はヘリオポーズとよばれます。太陽圏の大きさは、このヘリオポーズの位置で決まります。

1977年にボイジャー1号が太陽圏の境界へ向けて打ち上げられました。様々な惑星探査の後、2004年に94AUの距離で終端衝撃波を通過、そして2012年には122AUの距離でヘリオポーズに到達しました。太陽圏から脱出したボイジャー1号は、今も恒星間空間の観測データを地球へ送り続けています。

また、ほぼ同時期に打ち上げられたボイジャー2号は2007年に84AUの距離で終端衝撃波を通過しており、もうすぐヘリオポーズに到達すると考えられています。

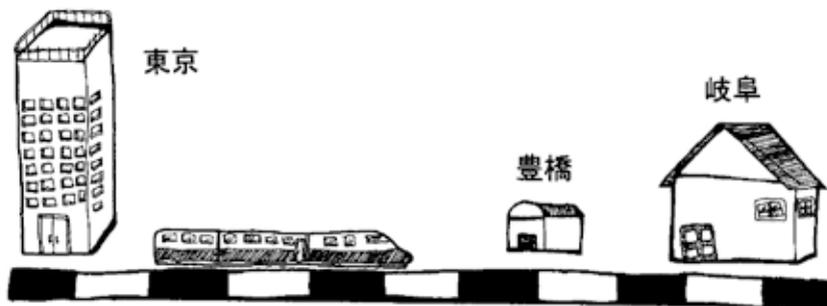


37. 太陽風の速さはどれくらい？

太陽風は、太陽から出発して、太陽半径の 10 - 20 倍の距離を旅する間に加速されます。地球付近を吹いている太陽風は、遅いもので 300 - 400 km/秒、速いものでは 800 km/秒にもなります。

秒速 400 km ってどれくらいの速さなのか、皆さんは想像できますか？ 新幹線の東京駅から岐阜羽島駅まで、たった 1 秒で到達するほどなのです。

それでも、太陽から地球までは 4 日もかかります。地球付近の太陽風の中を、音（プラズマの粗密波）が伝わる速さは 50 km/秒ほどですから、太陽風は音よりも 10 倍も速い、超音速の風です。太陽から黒点がほとんど消え、太陽活動が静かになると、不思議なことに、太陽風はほとんどが、遅い風（400 km/秒以下）と速い風（700 - 800 km/秒）の 2 成分になります。中間の速さの風はあまり吹きません。



38. 太陽風にも嵐はあるの？

太陽風は、いつも同じように吹いているわけではありません。でも、どうして速くなったり遅くなったりするのか、まだよく分かっていません。太陽活動が活発になり、太陽に多くの黒点が現れたとします。ループ状に閉じた磁力線が太陽面を覆うと、太陽全面から、遅い風しか吹き出さなくなります。逆に、黒点が消え太陽活動が静かになると、25 で説明したコロナホールが、太陽表面の極域から中緯度にかけて広がってきます。コロナホールからは、磁力線が宇宙空間に伸び出しており、高速の太陽風が吹き出しています。

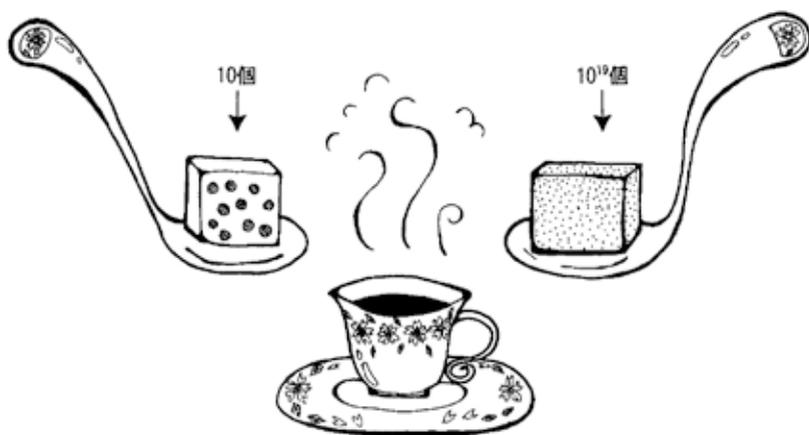
太陽活動が静かな時期にも、太陽の赤道付近には閉じた磁力線が残っているため、太陽の低緯度からは低速風が吹いています。このような太陽風の吹き出す様子は、太陽活動が静かな時期には、数ヶ月以上も安定しています。ところが、太陽面でフレアなどの爆発現象が起きると、密度の高い太陽風が 1000 km/秒を超す猛スピードで、惑星間空間を暴風のように吹き抜けることがあります。普段吹いている太陽風の後ろから、その速度を超す速度で暴風が襲いかかるので、暴風は衝撃波になります。



39. 太陽風は熱いの、冷たいの？

太陽風は、電気を帯びた粒子でできたガスですが、とても高温です。その温度は、太陽から離れるに従って下がりますが、地球軌道あたりを流れる太陽風の温度は、約 10 万度もあります。

そんな高温のところに宇宙飛行士が行ったら、大変なことになりそうですね。でも、大丈夫。宇宙飛行士には、太陽風の熱さは全く感じられないでしょう。それは、太陽風がとても薄いガスだからです。どれだけ薄いかといえば、1 立方センチメートル（角砂糖ぐらいの大きさ）当たり、10 個ぐらいしか粒子がないのです。この密度は、地上で作ることができるどんな真空状態よりも希薄で、太陽風は超真空の世界といえます。太陽風粒子の 1 個 1 個は、10 万度という温度が示すように、地球の大気分子に比べて大きなエネルギー（運動速度）を持っているのですが、あまりにも粒子の数が少ないために、全体で見ると熱エネルギーは非常に小さいこととなります。



40. 太陽風で宇宙ヨットは走るの？



太陽風という“風”を帆に受けて、スイスイと走る宇宙船（宇宙ヨット？）があったら、カッコいいですね。実際、そのような宇宙ヨットは可能です。でも、途方もない大きな帆が必要になります。風圧というのは、流れの速度と密度（濃さ）によって決まります。太陽風の速度はとても速いのですが、39 で述べたように密度が非常に小さいので、全体で見ると、太陽風の風圧は微々たるものにしかありません。しかしながら、宇宙船の周りに磁場とプラズマで太陽風を受け止める「途方もない大きな帆」を作るという新しいアイデアが提案されています。マグセイルと呼ばれる、このアイデアの実現に向けた研究が始まっています。

一方、光もエネルギーの流れですので、それを浴びると一定の力が働きます。それが光圧です。太陽からは、強力な光が放射されています。その光のエネルギーは、太陽風のエネルギーの100万倍も大きいのです。それでも、空気の摩擦力や地球大気の風の力に比べると、光圧は微弱です。

ですから、太陽の光圧を地上で、推進力として利用することはできません。でも、真空状態の宇宙空間では、有効な推進力となります。太陽光を利用した宇宙船はソーラーセイルと呼ばれ、現在研究が進められています。いつかこれらの技術をつかった宇宙船で旅行ができるようになるかもしれませんね。

41. 太陽風（惑星間空間）の磁場は どうなっているの？

太陽風は、弱いながら磁気を帯びています。

地球が磁石になっていることは、皆さんよく知っていますね。地球が磁石である効果は、地上だけでなく、上空の宇宙空間でも観測されます。

しかし、太陽風で感じられる磁気は、地球から発生したものではありません。太陽が原因なのです。12 で述べたように、太陽は強力な磁石の性質を持っていて、その磁気が太陽風と一緒に流れ出しています。それなら、太陽風の中で観測される磁力線は、太陽の方向を向きそうですね。でも、実際の磁力線の向きは、地球付近で太陽に対して斜め 45 度ぐらいの方向です。太陽が自転しているために、太陽風の中の磁力線はまるで蚊取り線香のように、太陽からぐるぐると渦を巻くように延びているのです。



42. もし太陽風がなかったら？

30 で銀河宇宙線について説明しましたね。銀河宇宙線は生命にとって有害で、生物がたくさん浴びると、癌や遺伝子の異常、死に至る危険さえあります。太陽風は、この銀河宇宙線が地球にたくさん降り注ぐのを防ぐ、バリアの役目を果たしているのです。ここで重要なのが、太陽風が持つ磁気之力、つまり磁場です。磁場は、電気を帯びた粒子の進行方向を曲げる作用があります。銀河宇宙線の大半は電気を帯びているため、太陽風の中に入ろうとすると磁場の力が働き、うまく進入することができません。太陽風の他に、地球の磁場や大気も、銀河宇宙線を防ぐバリアの役目を果たします。

太陽風が防いでいるものには、もう1つあります。それは、恒星と恒星の間に漂う星間空間ガス。星間空間ガスは、太陽風の流れによってせき止められ、地球に直接吹きつけることはありません。星間空間ガスと太陽風の境目は、太陽と地球の距離（1億5000万 km）の約100倍ぐらいのところにあると考えられています。現在、太陽は星間ガスの希薄なところにはいますが、いずれは、もっと星間ガスの濃いところに入っていきでしょう。このとき、太陽圏はぐっと縮められ、地球の位置あたりが境目になるだろうと予想されています。そうすると、地球は銀河宇宙線や星間空間ガスに直接さらされ、環境は大きくかわってしまうでしょう。

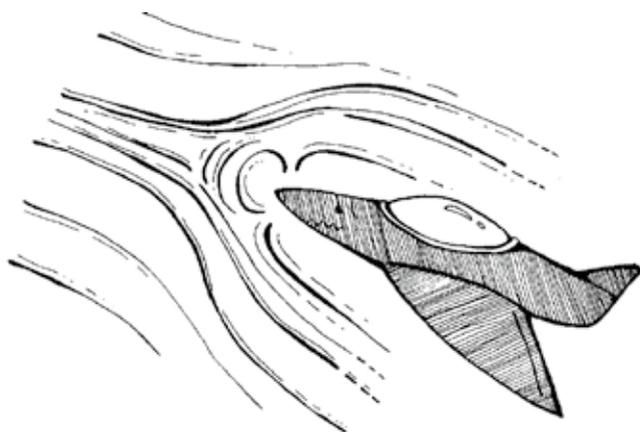


43. 太陽風が地球磁場に当たるとどうなるの？

太陽風は、常に地球へ向かって吹きつけていますが、太陽風のガスは地球の磁場によってせき止められて、地上にまで届くことはありません。地球磁場が太陽風をせき止めている場所は、太陽風が吹きつける強さによって変わります。地球の昼間側では、地球の中心から約6万 km（地球半径の約10倍）離れたところにあります。一方、夜側では、地球磁場は太陽風に引きずられて、ずっと遠方までのびています。このように、太陽風が地球磁場に当たることで、吹き流しのような形をした空間（磁気圏）が作られます。

ここで、超音速で飛びジェット機を考えてみましょう。ジェット機の前面には、衝撃波面ができます。太陽風が地球の磁気圏に吹きつける側にも、同じように衝撃波面ができます。太陽風の流れは、太陽風の中を伝わる音波の速度よりもずっと速いので、太陽風が吹きつける地球の磁気圏の上流側には、超音速ジェット機と同様に衝撃波が発生するのです。

太陽風が地球の磁気圏に当たると、太陽風のもつ莫大なエネルギーの一部が、いろいろな形で磁気圏の中に入ってきます。その結果引き起こされる現象の1つがオーロラです。

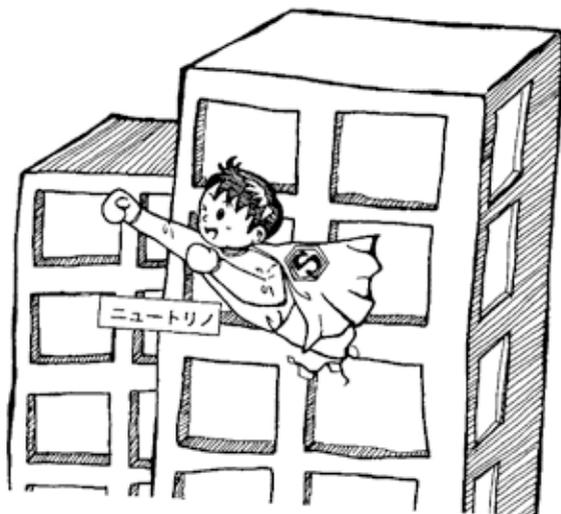


44. 太陽から地球へくるエネルギーは？

太陽からは、いろいろな形のエネルギーが放出されています。太陽風はそのうちの1つ。太陽から放出しているエネルギーの中で最大のものは、光のエネルギーです。地球で受け取る太陽光のエネルギーは、1平方メートルあたり約1.4キロワットにもなり、この値は太陽定数と呼ばれています。光のエネルギー量は比較的安定しており、太陽活動周期に伴って太陽黒点数が増減しても、変化はたったの0.1%程度。

2番目にたくさんのエネルギーを太陽から運び出してくるのが、ニュートリノと呼ばれる粒子です。ニュートリノはどんな物質でも透過してしまう性質があるので、エネルギーは多くても、地球環境にはほとんど影響しません。

そして、3番目が太陽風。太陽風が太陽から持ち出してくるエネルギーは、光に比べると100万分の1程度にしかありません。しかし、太陽風は太陽黒点の増減に応じてその構造を大きく変え、また太陽圏の中の磁力線の構造も大きく変わるので、地球環境との関係において重要です。

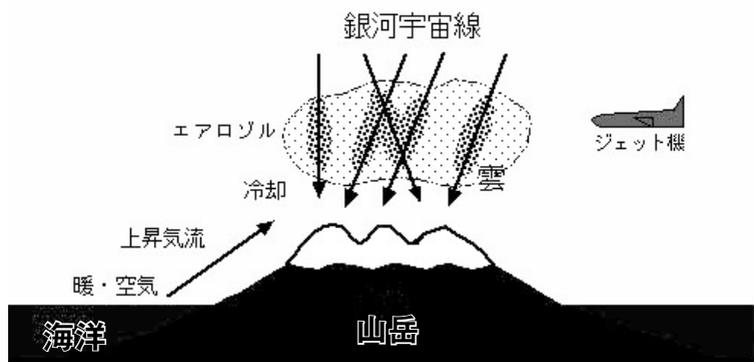


45. 太陽風は地球の環境に影響しているの？

私たちが暮らす地球の環境と太陽風には、深いつながりがあります。まず、太陽風の変動によって、地球周辺の宇宙空間には時々乱れが発生します。この宇宙空間の乱れにより、人工衛星の機器に異常が発生したり、無線通信が途切れたりします。また、地上の電気設備や海底ケーブルなどに異常電流が流れ込み、それが原因となって、重大な障害が発生することもあります。私たちの暮らしは、今後ますます、電子機器や情報通信に依存して行くでしょう。それとともに、太陽風の変動が引き起こす様々な影響は、もっと深刻な問題になって行くはずで

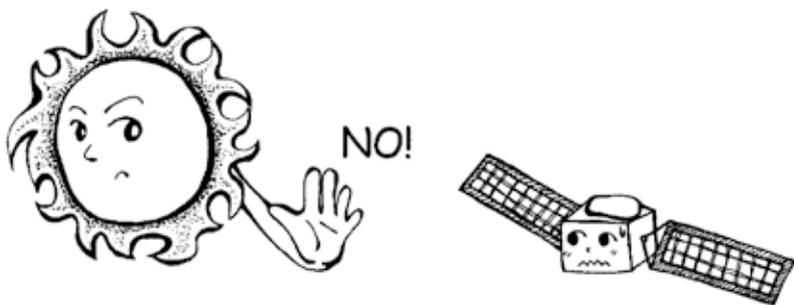
す。太陽風の影響は地球気候の温暖化や寒冷化にも関連していると指摘する研究者もいます。たとえば、太陽風によって地球に降り注ぐ銀河宇宙線が増減し、これに伴って上層大気

の雲の量が変化して、地球に入ってくる太陽光エネルギーが増えたり減ったりするというものです。宇宙線が雲をつくる核になるというわけです。ただ、本当にそういうことが地球規模で起こっているのかどうか、まだ分っていません。これからの研究が必要です。



銀河宇宙線が雲をつくる

46. 太陽風は、人工衛星や探査機でどのくらい観測されているの？



地球や惑星・彗星を調べるために、これまでたくさんの人工衛星や探査機が打ち上げられてきました。これらの探査機により、太陽風の観測範囲は、近くは水星軌道の内側から、遠くは海王星の外側まで広がっています。

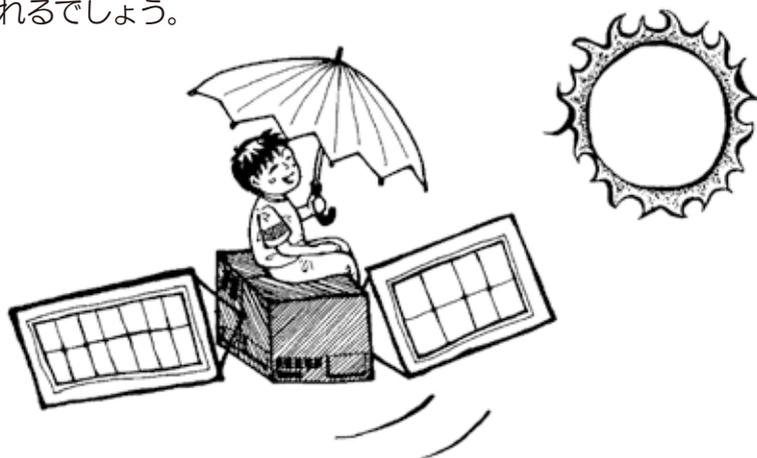
ところが、探査機では観測が難しい場所があります。その1つは太陽のごく近く。探査機が太陽に近づいていくと、その膨大なエネルギーのために壊れてしまうからです。そして2つめは、惑星の公転面から高く離れた、緯度の高い領域です。探査機は、地球の自転と公転運動の勢いを利用して打ち上げますので、地球の公転面から大きく抜け出すのは難しいのです。

唯一、高緯度の太陽風を観測したのは、ヨーロッパの国々とアメリカが協力して打ち上げた、ユリシーズという探査機です。ユリシーズは、木星の重力を利用して黄道面から脱出し、太陽のまわりを5年かけて極軌道を1周しました。この観測により、高緯度の太陽風が初めて直接観測されたのです。でも、全体像を調べるには、1機だけの観測ではまだまだ不十分です。なぜなら、探査機が1周する間に、太陽風も姿を変えてしまうからです。太陽風の全体像を調べるには、太陽のまわりを多くの探査機でとりまいて観測するか、まったく別の方法を考える必要があります。

47. 太陽の近くを観測する工夫は？

太陽風はどうしてそんなに速いのか・・・これは、まだ解決されていない難問です。この問題を解明するためには、太陽風が実際に加速されている所に行って、観測をするのが一番でしょう。しかし、太陽風が加速している場所は、太陽からほんの数百万 km（太陽の半径の数倍）しか離れていません。探査機が近づくためには、太陽からの強力な光のエネルギーに耐える必要があります。

皆さんは、日差しが強いときどうしますか？ 帽子をかぶる、日焼け止めクリームを塗る、木陰で休む、日傘をさすなど、いろいろな方法が思い浮かびますね。「探査機が日傘をさせばいいんじゃないかな？」と、NASA の科学者達も同じようなことを考えました。この日傘をさした探査機はパーカーソーラープローブと名付けられ、2018年に打ち上げが予定されています。このパーカーという言葉、見覚えはありませんか？32で登場した、太陽風の理論的予言者、パーカー博士にちなんで名付けられているのです。2024年には、太陽表面から600万キロ上空（太陽半径の8倍）まで接近し、楕円(だえん)軌道にのって何度も太陽に接近して観測を行ないます。太陽半径の8倍といえば、太陽風がまさに加速している領域。パーカー博士の予言から60年、未だ謎の多いコロナ加熱や太陽風加速のメカニズムについて、重要な手がかりが得られるでしょう。



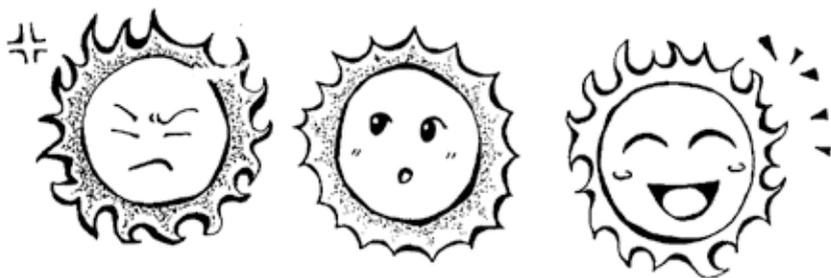
48. 太陽風は地球上から観測できるの？

夜空の星を見上げると、星はキラキラと輝いていますね。これは、星の明るさが実際に変化しているのではなく、星の光が大气によって散乱されるために起こります。この「キラキラ」はシンチレーションとよばれ、望遠鏡でのぞいたとき天体の画像をぼかしてしまうので、天文学者の頭を悩ませています。これと同じように、遠くの星や銀河からやってくる電波は、太陽風によって散乱されます。そのため、アンテナで電波星（強い電波を出す恒星や銀河）を観測すると、電波の強さがふらふらと変動するのです。

この電波のシンチレーションは、電波を発する星や銀河そのものを研究している人にとっては、じゃまなもの。でも、そのじゃまものを利用して、太陽風を調べることはできないかと考えた人がいました。電波シンチレーションの大きさは太陽風の密度に、変動の速さは太陽風の速度に、関係があります。観測によって、太陽風の速度や密度を、地上から調べることができるといふわけ。電波シンチレーションを使った太陽風の観測には、巨大なアンテナと処理能力の高いコンピュータが必要ですが、探査機では難しい高緯度や太陽の近くの観測を、簡単に行なえます。また、太陽から吹き出す太陽風の全体像を短期間で調べることができる、という利点があるのです。



49. 太陽風の到来を予報できるの？



太陽が穏やかなとき、地球からは、1 か月単位で同じような太陽風が観測されます。太陽は約 27 日で自転しているため、太陽コロナから吹き出した太陽風も、ほぼ同じ周期で観測されるのです。このタイプの太陽風は、観測を続けることである程度予報することができます。また、人工衛星などで観測された太陽コロナの姿をみれば、どんな太陽風が吹き出しているのか予想することもできます。

それでは、太陽の活動が活発なときはどうでしょうか？ たくさんの CME がおこり、惑星間空間には突風が吹き荒れます。CME がいつおこるのか、残念ながら、現時点では正確に予報するのは難しいようです。それなら、CME がおこった後で、どの方向にどれくらいの広がりか飛んでいったかが分れば、地球にぶつかるかどうかを予報することはできますね。このとき役に立つのが、人工衛星のコロナグラフ観測と、地上からの電波シンチレーション観測です。この2つの観測をくみあわせることで、CME の飛んでいく様子を予想することができるのです。

現在、日本とアメリカの大学が共同で、電波シンチレーションを使った太陽風の予報を試験的に開始しています。また、世界中で、電波シンチレーションの観測を始めようという動きも出てきています。そう遠くない将来、TV など、「明日の宇宙の天気は…」なんていう天気予報が見られるかもしれません。

50. 宇宙には風がいっぱい！

6で説明しましたように、星の一生は生まれたときの重さ（質量）でほぼ決まります。星の年齢と重さが分れば、その星の姿を想像することができるというわけです。

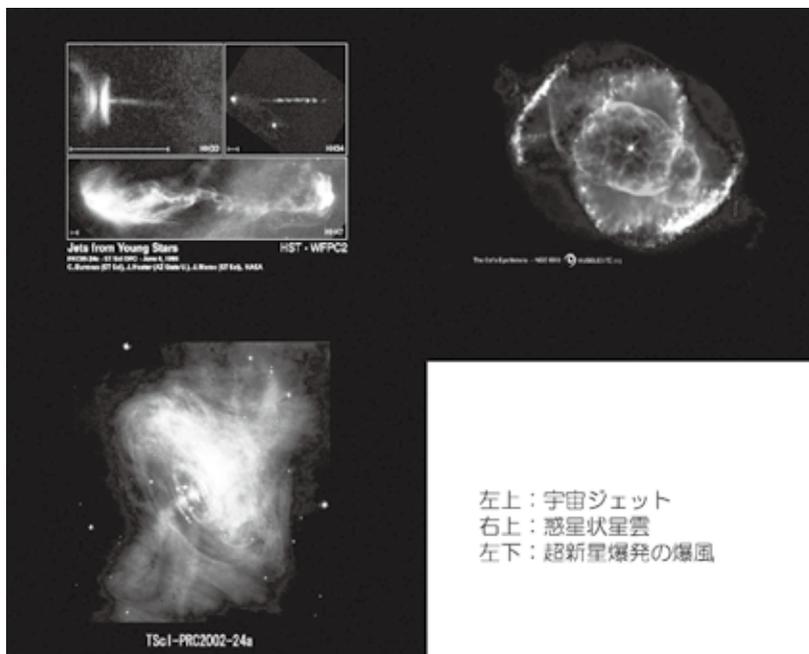
太陽は人間で言えば、大人の星。太陽と同じ程度の重さがある大人の星からは、太陽風と同じような風（恒星風と呼びます）がいつも吹き出しています。また、重さは太陽と同じでも、年齢の若い星（原始星）からは、太陽風とは異なる風が激しく吹き出しています。

反抗期といえそうな時期の星の風は、双極分子流とか宇宙ジェットと呼ばれていて、星が大人になってゆく過程で、重要な役割を演じていると考えられています。大人の星であっても、太陽より重い場合、太陽風とは異なるタイプの恒星風が吹いているようです。星は老いて最期が近づくと、不安定になります。恒星風も激しく変動することになるでしょう。

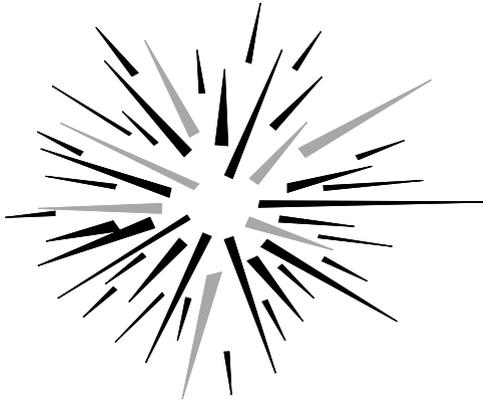
星の最期もまた、重さによって大きく異なります。太陽クラスの場合、星はエネルギーを使い果たしてくると、膨張して、ガスを緩やかに放出します（惑星状星雲）。

一方、重い星の最期は非常に華々しくて、大爆発を起こします。超新星爆発という言葉聞いたことがあるでしょう。このときの爆風は衝撃波となり、宇宙を伝わってゆきます。

宇宙は、星々からの風で満たされているのです。



ハッブル宇宙望遠鏡で観測された宇宙を吹くさまざまな風



むかしむかし、今から 50 億年前のことです。巨大な星が死にかけていました。そして、その星はついに超新星として爆発してしまいました。残骸は、四方八方の宇宙空間に雲となって散って行きました。

やがてその雲の一部は自分の重さで収縮し始め、太陽の種ができてきました。さらに重力によって収縮しつつ、どんどん熱くなっていきます。中心温度が約 1000 万度くらいになったとき、内部で核融合が始まり、大量のエネルギーを放つようになっていきました。これが太陽の誕生です。

誕生から今まで、太陽は明るさを増す一方でした。できたての地球には、現在の太陽エネルギーの 75%しか注がれていなかったといわれています。当時の地球はずいぶん寒かったということですね。

資料／イラストの提供・出典一覧

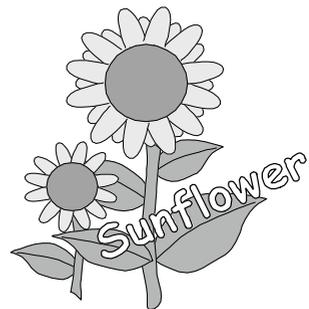
- 7 名古屋大学太陽地球環境研究所／Space Environment Center, NOAA 制作「宇宙の天気」
- 10 The Galileo Project, Rice University
- 12 宇宙航空研究開発機構
- 16 明星大学
- 18 京都大学飛騨天文台
- 19 宇宙航空研究開発機構
- 23 ESA/NASA
- 24 STEREO 衛星ホームページ <http://stereo.jhuapl.edu/>
- 27 NOAA/NGDC
- 28 太陽定数： D. V. Hoyt 他 JGR, 97, 51 (1992)
写真上： 宇宙航空研究開発機構／NASA
写真下： 宇宙航空研究開発機構
- 33 写真下： 自然科学研究機構国立天文台
- 50 Space Telescope Science Institute

ひまわりは「日廻り」、つまり太陽を追いかけて回す花という意味です。キク科の一年草で、暑い夏、黄色の大きな花をつけますね。キク科の特徴で、ひまわりは、茎の先に沢山の小さな花が咲きます。

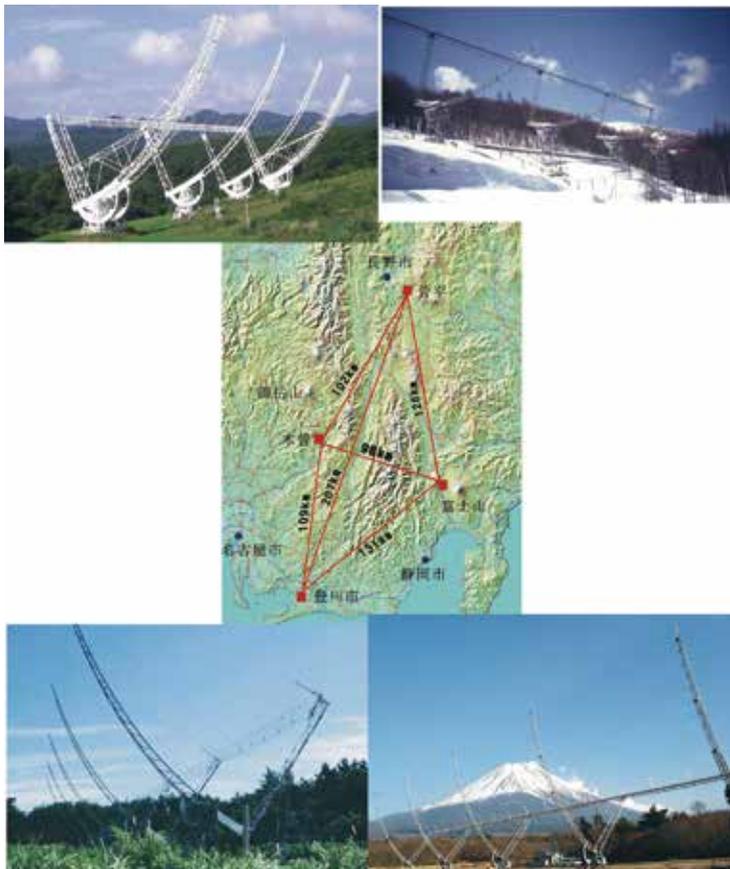
太陽を「追いかける」といいますが、それは若いころの話で、花がよく開いた後は動かなくなり、東向きになります。太陽を追いかけるのは、やはり太陽のエネルギーをより多く受け、多くの養分を作るためなのでしょう。

古代インカ帝国では、ひまわりは太陽の花と呼ばれ、神殿にはひまわりの花が彫られ、太陽神につかえる聖女たちは、金細工のひまわりを身につけていたそうです。「太陽王」として知られるルイ 14 世はひまわりを好み、自分の紋章にしました。ベルサイユ宮殿の正門には、今でもひまわりが植えられています。日本へやって来たのは中国経由で、17 世紀のことです。

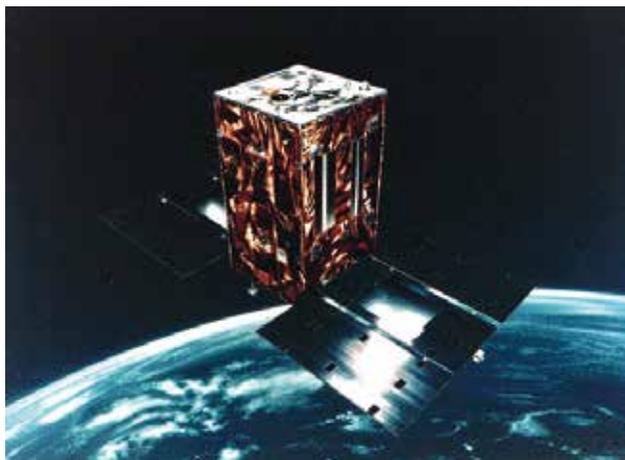
ご存知のとおり、ひまわりは英語では sunflower で、学名は *Helianthus annuus* L、属名は「helios 太陽」+「anthus 花」です。ひまわりの花言葉は、敬慕、憧れです。

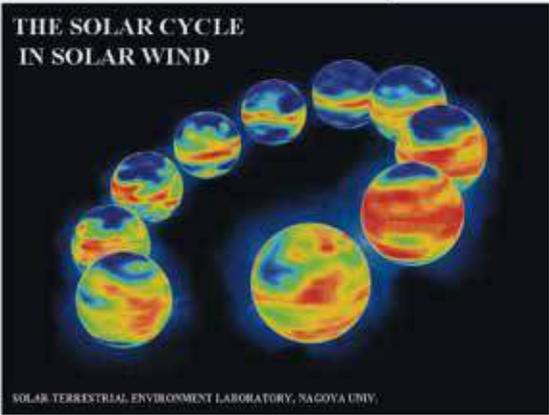
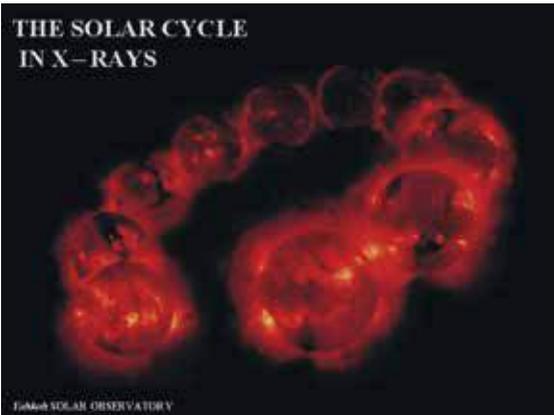


太陽風を地上から観測するアンテナ（名古屋大学太陽地球環境研究所）



ようこう衛星（宇宙航空研究開発機構提供）





上から順に、X線強度、光球面磁場強度、太陽風速度の10年間(1991年-2000年)の変化を示している。すべて、時間は左手前から奥に進み、右手前に帰ってくる順序に並べられている。(宇宙航空研究開発機構/NASA, NSO, 名古屋大学太陽地球環境研究所提供)

太陽・太陽風

50のなぜ

2017年10月 改定版 第5版 第1刷発行

発行日	2010年 3月 初 版 第1刷発行 2012年 3月 第2版 第1刷発行 2014年 3月 第3版 第1刷発行 2016年 3月 第4版 第1刷発行
企画・制作	名古屋大学宇宙地球環境研究所 りくべつ宇宙地球科学館 豊川市ジオスペース館
文 絵 編集	小島 正宜・徳丸 宗利・藤木 謙一・増田 智 大村 純子 野田 ゆかり
発行	名古屋大学 宇宙地球環境研究所 (〒464-8601 名古屋市千種区不老町) http://www.isee.nagoya-u.ac.jp/
印刷／製本	株式会社 T.P.O. (〒441-8077 豊橋市神野新田町中洲3番)

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.

太陽・太陽風 50のなぜ

