



制 作

名古屋大学太陽地球環境研究所

東京大学地震研究所

りくべつ宇宙地球科学館

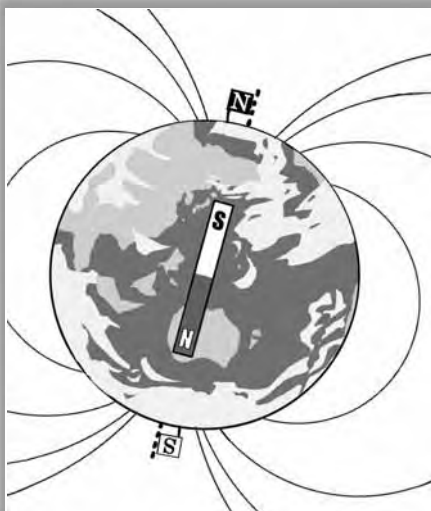
豊川市ジオスペース館

磁石は慈石？

磁石はむかし中国で、慈石と書かれていたそうです。紀元前 240 年ごろの書物に、「慈石召鉄」という文があります。鉄を引き寄せる不思議な力をもった石に、慈（いつく）しみをもつ母親がわが子を引き寄せる意味を込めたのでしょうか。

それにしても、磁石の力はどうのようにして生ずるのでしょうか。今日では電車の切符やプリペイドカード、フロッピーディスクに塗ってある微小粉末磁石を始め、私たちの周りにある多くの電気製品は磁石のおかげで動いています。人体の断層写真を撮ってくれるMRI、そしてリニアモーター鉄道にも大型の磁石が使われ、はたまた太陽も銀河系も磁場でできています。生命体の中でも小さな磁石が働いているようです。

本冊子では、地球が磁石であることから出発し、磁石、磁場の不思議を考えてみましょう。

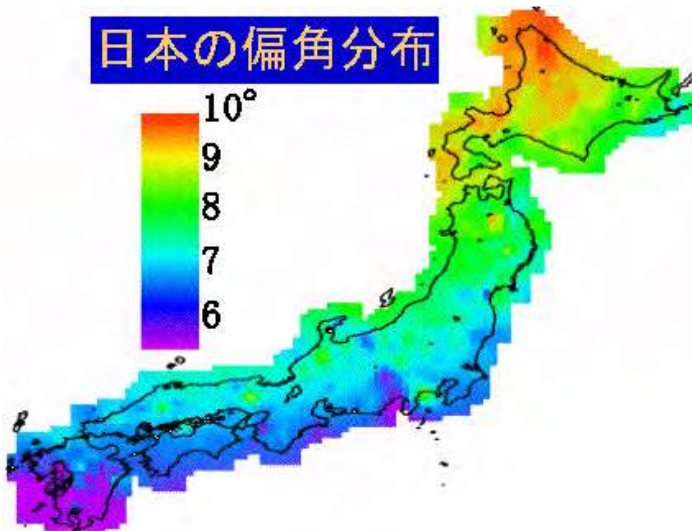




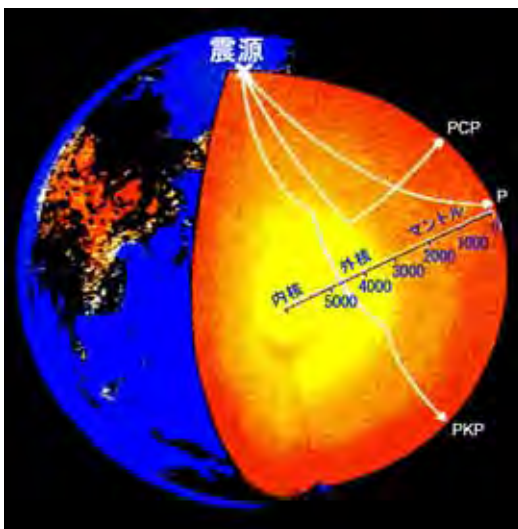
伊能忠敬「大日本沿海輿地全図」による富士山付近（7 参照）。



伊能忠敬（7 参照）、19 世紀初頭、日本初の実測に基づく地図を作成しました。

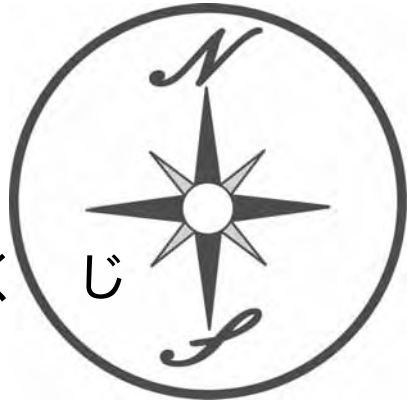


日本の偏角分布（10 参照）。例えば北海道の中央部に見られるように、複雑な分布をしています。これらの原因は、20 で述べる地殻の地磁気異常によると考えられます（国土地理院による）。



地球の内部構造（13 参照）。どこかで地震が発生すると、震源から地震の波が発生して、地球の内部を伝わって行きます。

も く じ



磁場の性質

- 1 . そもそも磁場ってなに？
- 2 . なぜ N 極は北を指すの？
- 3 . なぜアルミや銅は磁石にくっつかないの？
- 4 . 磁石はいつどこで発見されたの？
- 5 . マグネットという言葉はどこから来たの？
- 6 . 磁場と重力場の相違点は？
- 7 . 伊能忠敬は磁場を使って日本地図をつくった？

地球の磁場 - その 1

- 8 . 地磁気ってなに？
- 9 . 地磁気は棒磁石のつくる磁場に似た形だって本当？
- 1 0 . 磁石の向きはどこでも同じ？
- 1 1 . 磁石の向きはいつでも同じ？
- 1 2 . 地球は永久磁石？
- 1 3 . 地磁気は地球の中心部でできているって本当？

- 1 4 . 地球の中心部はどんなものでできているの？
- 1 5 . 地磁気の強さってどのくらい？
- 1 6 . 他の惑星にも磁場はあるの？
- 1 7 . 太陽や星にも磁気はあるの？

地球の磁場 - その 2

- 1 8 . 地磁気の発見者は誰？
- 1 9 . 地磁気はいつごろからあるの？
- 2 0 . 地磁気異常ってなに？
- 2 1 . ブラジル異常ってなに？
- 2 2 . 磁場と電磁波は違うの？
- 2 3 . 地磁気観測所ってどこにあるの？
- 2 4 . 地磁気観測所では何をしているの？

地球磁場の変動

- 2 5 . 地磁気は今弱くなっているって本当？
- 2 6 . 地磁気が無くなってしまうことはあるの？
- 2 7 . 地磁気が無くなってしまうとどうなる？
- 2 8 . 地磁気の逆転ってなに？
- 2 9 . 地磁気はどうして逆転するの？
- 3 0 . 隕石や彗星の衝突が地磁気を逆転させるって本当？
- 3 1 . 恐竜などの生物の絶滅は地磁気の逆転と関係ある？
- 3 2 . 大昔の地磁気のことはどうやって知るの？
- 3 3 . 地磁気の日変化ってなに？
- 3 4 . 地磁気の日変化の大きさは？
- 3 5 . オーロラが出ると地球磁場が変化するの？
- 3 6 . 磁気嵐ってなに？

地震火山と地磁気

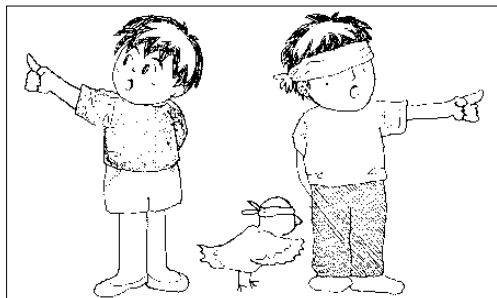
- 3 7 . 地震の時に磁場が変化するって本当？
- 3 8 . 地磁気の観測で地震を予知できる？
- 3 9 . 溶岩の近くでは磁場が乱れているって本当？
- 4 0 . 火山が噴火する時に磁場は変化する？
- 4 1 . 地磁気の観測で噴火を予知できる？

生物と磁場

- 4 2 . 磁場を感じる動物がいる？ - その 1
- 4 3 . 磁場を感じる動物がいる？ - その 2
- 4 4 . 磁場を感じる植物もある？
- 4 5 . 人間も磁場を感じるの？
- 4 6 . 地磁気は人の健康に影響を及ぼすの？

磁場いろいろ

- 4 7 . MRI ってなに？
- 4 8 . リニアモーターカーってなに？
- 4 9 . 宇宙にも磁場はあるの？
- 5 0 . モノポールってなに？





1 そもそも磁場ってなに？



重力や電気力など、自然界に存在する力の一つに磁気の力があります。これらの力のように、物体に触れることなく及ぼされる力のことを遠隔力といいます。

重力は質量がある物体に、電気力は電荷に働く力ですが、磁気力は磁石や電流に働く力です。これらの力は目に見えないので、力が働く場合に、「空間に場が存在する」という言い方をし、それぞれ、重力場、電場（あるいは電界）、磁場（あるいは磁界）と呼びます。特に、磁場と電場は密接に関連し合っていますので、両者を扱う学問は電磁気学と呼ばれます。

例えば重力ですと、地球上では地球の中心に向かった力という具合に、ある程度直感的に理解できますが、磁場の様子を直感的に理解するのはなかなか容易ではありません。そこで、イギリスのファラデーという人が、「磁力線を描く」という方法を考え出したのです。磁力線の引き方は、線の引かれた方向（向きを矢印で示します）が磁場の方向であり、その密度（混み具合）が磁場の強さを表すことになっています。例えば、直線電線に電流が流れている場合、電線を中心とする同心円状の磁場ができます。この場合の磁力線は同心円状に描かれ、電線に近いほど混み合っていて、遠ざかるにつれてまばらになります。



なぜ N 極は北を指すの？

磁石には N 極と S 極があります。S 極から N 極へ向かう方向を、磁石の向きといいます。この 2 つの極をばらばらにすることはできません。N と S はいつも対になっているのです。

磁場の中に置かれた磁石には、N 極を磁場の方向に、S 極を反対の方向に動かすような力が働きます。したがって、磁石の向きが磁場の向きと異なる場合は、磁石全体には一方向に動かす力ではなく、磁石が磁場と同じ方向になるように回転させる力が働くこととなります。磁石は磁場の方向を中心にして、最初に向いていた方向とその逆の方向の間で永遠に振動することとなります。しかし、実際には、例えば磁気コンパス*の場合を考えると、コンパスの針と針を支える部分との間に摩擦があるので、振動はすぐに小さくなって釣り合いの方向でとまります。この釣り合いの方向とは、磁石に回転力が働かない方向ですから、磁場の方向でもあります。

答えを出すまで長くなりましたが、磁石が北を指すのは、地上ではほぼ北向きの磁場があるからです。



* 磁気コンパス：磁気羅針儀ともいわれ、磁石の N 極が北を指すことを利用して方位を知るための道具。磁気コンパスには、ハイキング用の簡単なものから、測量用や船舶に積まれている本格的なものまであります。

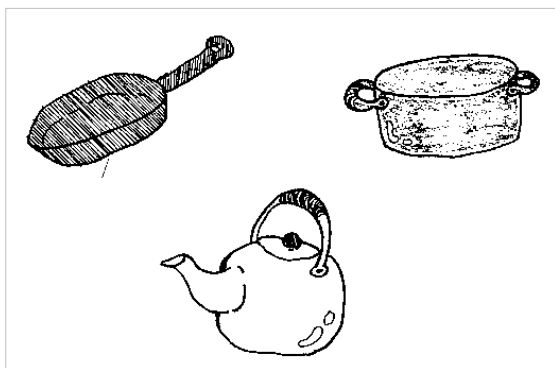


3 なぜアルミや銅は磁石にくっつかないの？

磁性のもとを探ると、原子の構造にたどり着きます。ひとことで、原子核の周りのうち、最も外側の軌道を回る電子の性質によって、といえます。例えば、最も単純な水素の原子について見れば、原子核の周りを回る電子の数は1つだけで、それが最も外側の軌道にある電子です。この電子の回転は円状の電流と同じですから、周辺には棒磁石の周りと同じ形の磁場ができています。これを原子の磁気モーメントと呼びます。

ほとんどの原子が単体では磁気モーメントを持ちますが、孤立した原子は不安定なため、分子になったり、結晶になったり、結合して金属になったりします。この時アルミや銅をはじめほとんどの物質の場合、外側の電子どうしが同じ軌道を反対に回る組み合わせになり、結果的に磁気モーメントを失います。ところが、鉄族の金属（鉄やニッケルなど）の原子では、ちょっと様子が違います。最も外側の一つ内側に特殊な電子の軌道があって、化合物や結晶の中でもこの電子が一方の方向に回っていて、磁気モーメントを失うことはありません。

磁気モーメントをもつ原子が集まった物質は、小さな棒磁石の固まりみたいなものですから、磁石にくっつくということになります。ちょっと難しかったですね。

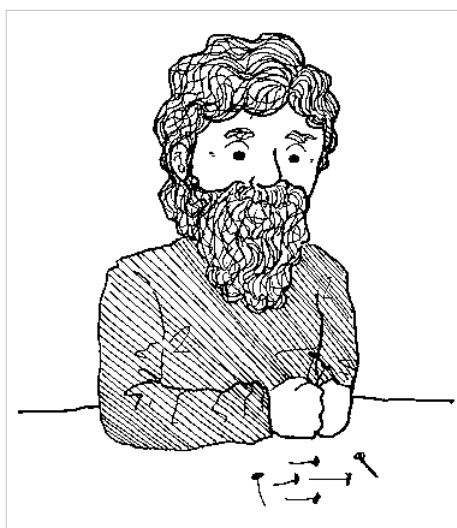




4 磁石はいつどこで発見されたの？

書物で、はじめて磁石というものについて述べたのは、古代ギリシャの哲学者タレス（紀元前 624～546）だと言われています。実は、アリストテレス（紀元前 384～322）の書物で述べられているのですが、タレスは「万物に靈魂が備わっていること」を主張するために磁石を引き合いに出したのであって、新しい発見として磁石のもつ力（磁力）を語ったのではないようです。つまり、タレスの時代に、すでにギリシャ世界では磁石の存在や鉄を引きつける力としての磁力は、かなり知られていたことになります。

ギリシャのマグネスという羊飼いが、鉄くぎが引きつけられるのを見て偶然磁石を発見したという伝説も残っていますが、定かなものではありません。当時は、物と物が直接接触することなく力を及ぼす磁力が非常に神秘的なものと捉えられていて、プラトンやアリストテレスなどの多くの哲学者が興味を示し、その学問的説明を試みました。





5 マグネットという言葉はどこから来たの？

ギリシャ世界で知られていた磁石はいわゆる天然の磁石で、人工的に永久磁石を作ることは知られていませんでした。当時天然磁石は、「マグネスの石」あるいは「ヘラクレイアの石」と呼ばれていたことが、例えばプラトンによる「イオンとソクラテスの対話」に見ることができます。

マグネットという言葉は、このマグネスに由来するとされていますが、マグネスとは何かについては諸説あるようです。小アジアあるいはマケドニアにあったマグネシアという場所で天然磁石を産出したことによるという説と、前項に紹介した羊飼いのマグネスに由来するという説が有名です。

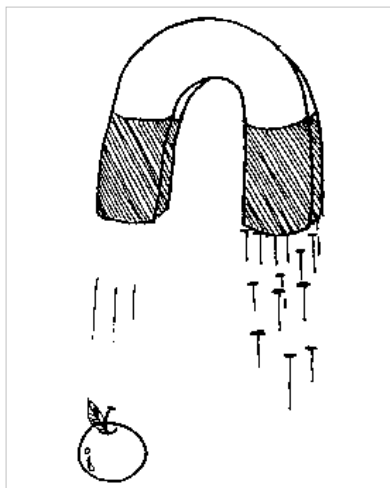
ちなみに、「ヘラクレイアの石」という名前も、地名によるという説と、怪力ヘラクレスにちなんだものという説があります。

ついでに、英語の magnetic には、「魅力的な」という意味があります。引きつける（魅きつける）力があるからでしょうか。





6 磁場と重力場の相違点は？



ある物体が、重力場にある場合と磁場の中にある場合を比べてみましょう。重力場にある物体は、それがどんな物質でできていようと、その物体の質量に比例した重力を受けます。私たちは地球上でいつも地球の重力場から重力を受けており、その方向が上下、つまり地球の中心に向う方向にあたります。

一方、磁場の中におかれた物体では、磁力を受ける場合と受けない場合とがあります（3 参照）。磁力を受ける物体を「磁性がある」といい、磁力を受けないものは「非磁性」、つまり磁性をもたないといいます。磁場におかれた棒磁石のような磁性物体は、磁場に比例した回転力を受けます。

鉄でできた釘とりんごで、磁場と重力場の違いを見てみましょう。持っていた手をはなすと、釘もりんごも同じように落下します。ところが、落ちて行く途中に強力な磁石があると、釘は向きを変えて磁石にくっつきませんが、りんごはそのまま落ちて行きます。



伊能忠敬は磁場を使って 日本地図をつくった？

伊能忠敬（いのうただたか）は、50 歳をすぎて家業から引退して幕府の天文方（暦を作成する役所の役人）高橋至時の弟子になり、その後わが国最初の実測日本地図「伊能図」をつくりあげた人物です。伊能図は、忠敬が実際に日本全国のほとんどを歩いて精密に測量したデータを元に作成されたものです。忠敬が各地の測量を始めたのが西暦 1800 年ころ、地図が完成して幕府に上程されたのは 1821 年のことでした。忠敬自身は地図の完成を見ることなく、1818 年に 73 歳で亡くなりました。

測量には、当時主としてオランダから輸入した測量器具を用いました。その中には、遠方の山や島の方位を測定するために用い



伊能忠敬

られた方位磁針（磁気コンパス）も含まれます。忠敬が人生の大半を過ごした千葉県佐原市には「伊能忠敬記念館」があり、そこでは、この方位磁針を含め忠敬が使った測量器具を見ることができます。



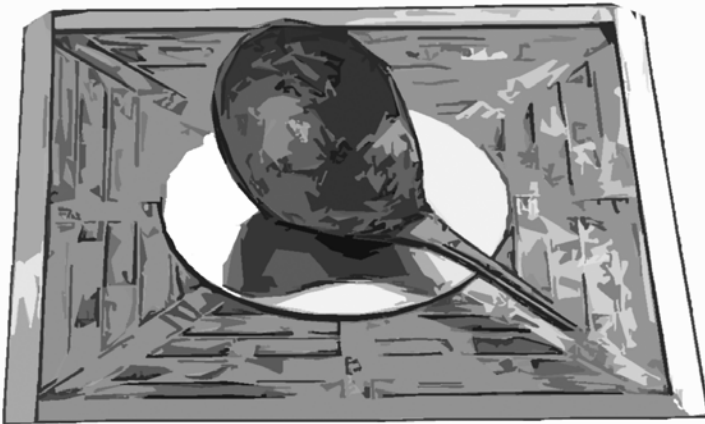
伊能忠敬「大日本沿海輿地全図」による富士山付近



8 地磁気ってなに？

地球やその周辺に存在する磁場のことを、地磁気といいます。古代中国において紀元前 220 年ころに、南の方角を知るために「指南儀」と呼ばれる道具を用いたと伝えられています。この道具は、銅でできたスプーンを何百度という高温に加熱した後に冷却して磁化したものを、滑らかな銅板の上に置いたものです。スプーンを回転させて止まった時に示す方向から、南の方角を知ったとされています。

北ではなく、南であるところがおもしろいと思いますが、古代中国、それも紀元前 2600 年代に、すでに磁力を使って常に南を



古代中国で南の方角を知るために用いたとされる「指南儀」のイラスト。よく磨かれた銅板の上で磁性をもった鉄のスプーンを回すと、南を指す位置で止まるようにできていました。北京鉄鋼歴史博物館に模型が展示してあります。

向く道具があったことが記録に残されています。それは指南車と呼ばれ、このクルマの上には、腕を伸ばした人形が乗せてあり、その人形の腕がいつも南を指すようになっていたというもの。人を教える導くことを「指南する」といいますが、どうやらこの語源は指南儀や指南車にあるようです。

地磁気はおおむね北向きの磁場ですが、詳しく見ると水平であるとは限らないことがわかります。このため磁石の重心を支点にすると、日本付近ではN極が少し下を向いてしまいます。このことは、磁場は水平ではなくて上方から地球の中に向かっていていることを意味します。さらに詳しく調べると、南半球では磁場が上向きになることや、赤道付近では水平で緯度とともに傾きを増し極ではほとんど鉛直に立ってしまうことがわかります。水平面からの磁場の傾きの角度を伏角と呼びます。

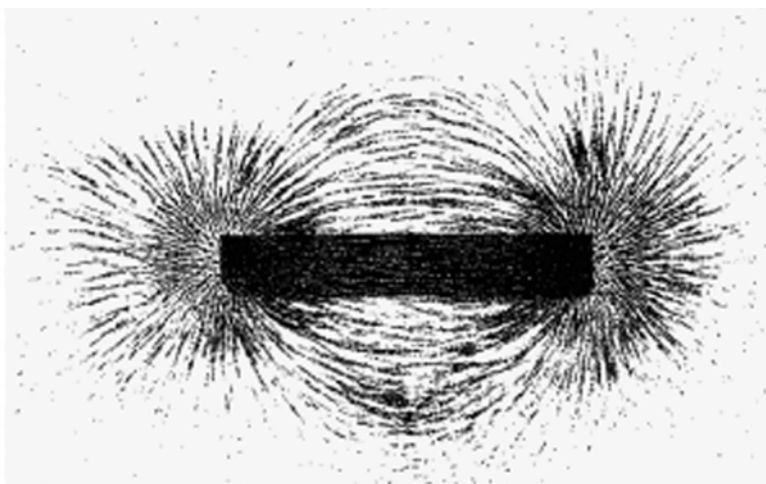
磁気コンパスの針が傾いているとうまく回転しないので、通常はS極側に金属の線を巻き付けてバランスが取られています。緯度の違いによってこのバランスがずれてしまうことがありますので、海外に持って行く時には注意が必要です。



地磁気は棒磁石のつくる 磁場に似た形だって本当？

子供のころに、砂鉄と磁石で遊んだ経験をお持ちの方が多いことでしょう。砂鉄をガラスの上にまいて、ガラスの下に磁石を近づけると、砂鉄が磁石のつくる磁場に引き寄せられるのです。この砂鉄の並びによって、普段は見ることのできない磁力線の形が、下図のようなものであることを見るすることができます。

棒磁石はN極とS極が直線上に並んでいますが、磁石を削って球にしてもこれらとほぼ同じ磁場が現れます。イギリスのギルバートは球磁石の周囲の磁場の方向を測定することによって、そのころすでに知られていた地球上の伏角の分布を説明できることを示しました。そして、1600年に出版した「De Magnete」という本の中で、地磁気は地球が磁石になっているために発生している、言い換えると地磁気の原因は地球の内部にあると結論しました。みなさんはそんなこと当たり前だと思われるかも知れませんが、当時は地磁気の原因が天球の極にあるという説も有力で、科学者の間で論争中だったのです。



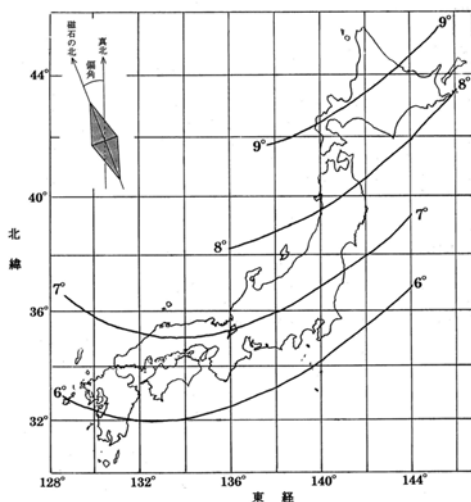
砂鉄の実験によって見える磁力線の形



10 磁石の向きはどこでも同じ？

「磁石の N 極が北を向く」ことは、みなさんよくご存じの通りですね。ところで、日常生活で「北」という場合、それは「地理的な北」のことを指します。地球の自転の軸が地表と交わるのが北極と南極で、「地理的な北や南」というのは、これらの極の方向を言います。これに対して、磁石の N 極が指す方向を「磁気的な北」と呼びます。違った呼び方をするのは、磁気的な北と地理的な北は異なるし、場所によってそれらの違いもさまざまだからです。地理的な北から見た磁気的な北の角度のことを、偏角とよびます。

国土交通省の国土地理院から発行されている、一万分の一、二万五千分の一、五万分の一地形図には、「偏角補正值」の値が角度で 10 分の値まで表示されています。その地図の示す範囲において磁気コンパスで方位を測った場合、この値で偏角の補正を行うと正しい方位を知ることができます。日本付近の偏角は、九州南部では 5 度くらい、北海道北部では 10 度くらい、西向きになっています。



日本の偏角分布



11 磁石の向きはいつでも同じ?

8 と 10 で述べたように、磁石の向きは偏角と伏角という 2 種類の角度で表すことができます。実は、これらの角度は、時々刻々変化しています。変化しているとは言っても、微小なものですから、コンパスの針をじっと見てもその変化している様子確かめるのは難しいでしょう。

地磁気の変化を高精度に測定する装置（地磁気変化計と呼ばれます）を使うと、この時々刻々の変化を知ることができます。通常、偏角や伏角は 1 日ごとにほぼ周期的に変化しています（日変化）。この変化の大きさは、角度にして 2～3 分という大きさです。1 分は角度にして 1 度の 60 分の 1 ですから、よほど目が良くて根気のある人でも、この動きに気が付くことはできないと思います。1 日ごとの変化だけでなく、地磁気は常に変動を続けているので、磁石の向きも常に変化し続けています。



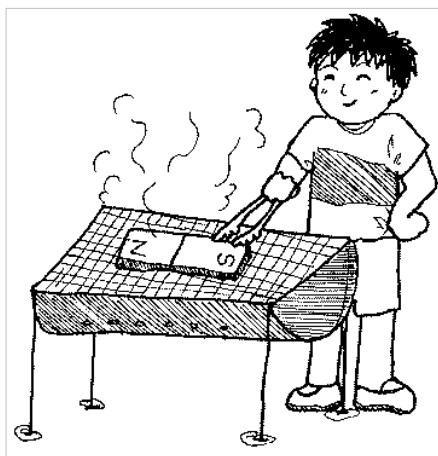


12 地球は永久磁石？

この問題に答える鍵は、温度にあります。永久磁石のもつ磁力は温度によって変化します。500～700 あるいはそれ以上に熱すると、永久磁石は磁力を失ってしまうことが知られています。

さて、地表では、昼と夜、あるいは季節の違いによる気温の変化があります。ところが、地中に深く入るに従ってこのような温度の変化が小さくなってきます。井戸水の温度が1年中あまり変わらないのはこのためです。地表の温度変化が届かなくなると同時に、地下深部に行くに従って温度（地温と呼びます）が次第に高くなります。温度上昇の割合は場所によって違いますが、平均すると、およそ100メートルで3度くらいです。

ですから、地球の中に永久磁石があったとしても、それが磁力をもてるのは地表に非常に近い部分だけに限られることがわかります。地殻の岩石には永久磁石の性質をもつ鉱物が含まれることが多いのですが、量的にはわずかなため、これで現在の地球磁場を説明することはとてもできません。地殻の岩石の磁性は、地磁気異常（20 参照）の主な原因になっています。

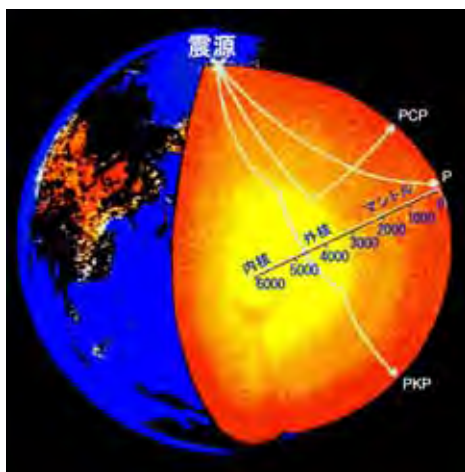




13 地磁気は地球の中心部で できているって本当？

地球の内部はおおまかに、地殻、マントル、核という部分にわかれています。地磁気は中心の核の中で発生しています。地球の自転や地震波の伝わり方の精密な観測などによって、核は外核と内核とに分けられることが知られています。内核は固体ですが、外核の部分はどろどろに流れるもの（流体）でできていると考えられます。地震波のP波（縦波）は外核の部分を伝わるのですが、S波（横波）は伝わるできないことからそのことがわかります。外核の中に複雑な流れがあって、その流れが電流を発生して、地磁気を作っている、つまり地球は大きな電磁石であると考えられています。外核の中では、複雑な流体の流れと複雑な磁場とがお互いに影響を及ぼしあっているというわけです。

こういう問題を数学的に扱う理論を、「ダイナモ理論」と呼びます。この理論に基づくコンピュータシミュレーションによって、地球磁場のもつ様々な性質を再現することができるようになりました。



地球の内部構造。どこかで地震が発生すると、震源から地震の波が発生して、地球の内部を伝わって行きます。図の白い線はP波の伝わり方を示したものです。S波もこれと似たような経路を伝わりますが、外核の中を伝わることはできません。

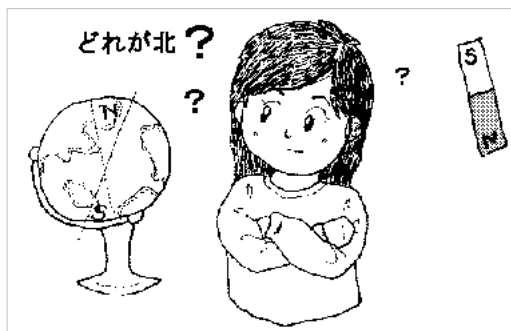


14 地球の中心部はどんなもので できているの？

地球の外核は、鉄やニッケルなどの重い金属を主成分としています。しかし、観測から予想される平均的な密度の値から、水素、酸素、硫黄などの軽い元素もある程度含まれていることが予想されています。

地球ができた直後は、内核はなくて核全体が溶けていたと考えられています。やがて地球が冷えるとともに、中心部分から重い金属が少しずつ固まっていき現在のような状態になったのです。つまり、内核と外核の境界では、ちょうど鉄が固まりはじめる温度になっているということです。軽い元素はその温度ではまだ固まりはじめませんので、境界のすぐ外側では軽い元素が含まれる割合が多くなります。この周囲よりも軽い元素が多い部分がある程度大きくなると、外核表面に向かって浮かび上がります。これが、電磁石の電流を流すための重要な流れの一つであると考えられています。

話変わって、地質時代を通じて、地磁気のN極とS極を結ぶ軸は、ほとんど地軸（地球の自転軸）と一致していることが知られています。このことから、地球の自転も地磁気の発生にとって極めて重要であることが、昔から予想されていました。近年のダイナモシミュレーションでも、そのことが確かめられています。

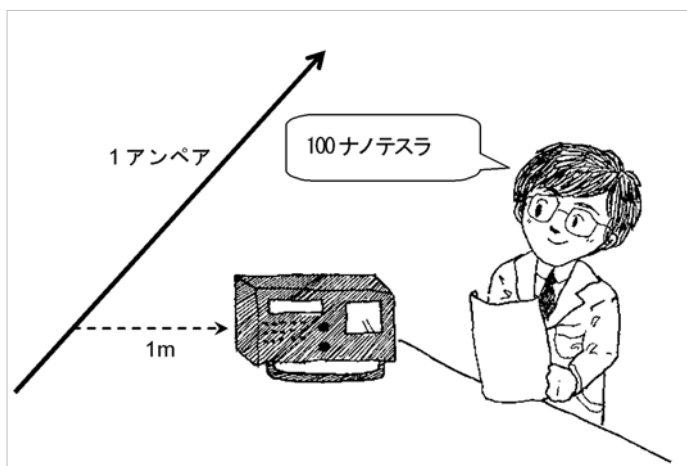




15 地磁気の強さってどのくらい？

磁場（磁束密度）の強さは、テスラという単位で表します。ユーゴスラビア生まれの、テスラというアメリカの発明家の名前から付けられました。ただし、1 テスラの磁場というのは地磁気に比べてはるかに強いので、地磁気を表す慣用的な単位としてナノテスラが用いられます。1 ナノテスラとは1 テスラの10 の9 乗分の1、つまり10 億分の1 の強さのことです。地磁気の強さはこの単位で表して、赤道付近で3 万くらい、極地方で6 万くらいになります。

と言われても、ピンときませんか？ そこで、電流がつくる磁場と比べてみましょう。非常に長い直線状の電線に電流を流すと、電線の周囲に同心円状の磁場ができます。電線に1 アンペアの電流を流した時、電線から1 メートル離れたところにある磁場がだいたい100 ナノテスラになります。地球磁場の強さは、これの300 倍から600 倍くらいということですね。



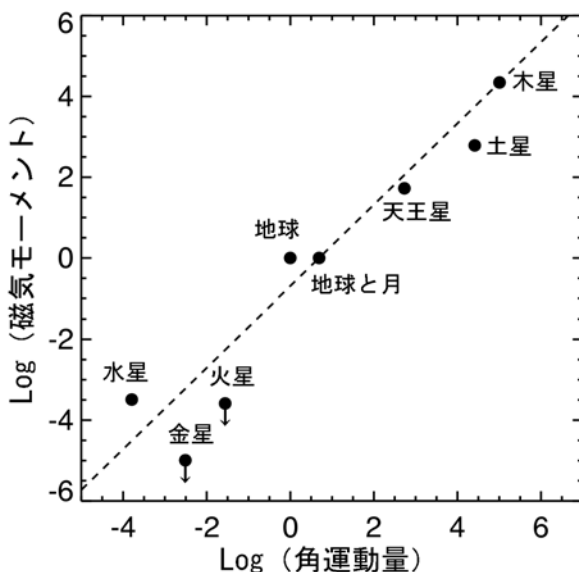


16 他の惑星にも磁場はあるの？

地球に磁力があるなら、他の惑星はどうなっているのかは、当然の疑問になりますね。まず木星から強い電波が発射されていることが発見され、その電波が磁場の中で発生していることがわかりました。続いて宇宙探査機が次々と打上げられ、惑星の周辺を実際に観測してデータを地球に送ってくれる時代にもなりました。

太陽系の惑星の中で、磁場を持っていることがわかっているのは、水星、地球の他は、木星型と呼ばれる外側を回る惑星（木星、土星、天王星、海王星）です。水星の磁場は非常に弱い（地球の磁力の 1% 程度）ので、木星型惑星以外では、なぜかしら地球だけが「健全な」磁場をもっていることになります。

図に示すように、今では惑星の磁力が規則性をもっていること



磁気ボーデの法則

まで見つかっています。惑星の距離にボーデの法則というのがあります（「惑星 50 のなぜ」を参照のこと）が、実は惑星磁気のボーデの法則というのもあります。角運動量*という惑星の自転に関係した量と、その惑星の磁力には規則性があるのです。偶然の一致にしては、ほぼ一直線上に並んでいますし、惑星の磁場が惑星内部の発電機によって起こされているとすれば、回転のスピードに関係しているというのはうなずけます。ただし、火星だけは、磁力が弱く、この関係からはずれています。

*角運動量： 回転運動の勢いを表わす量。

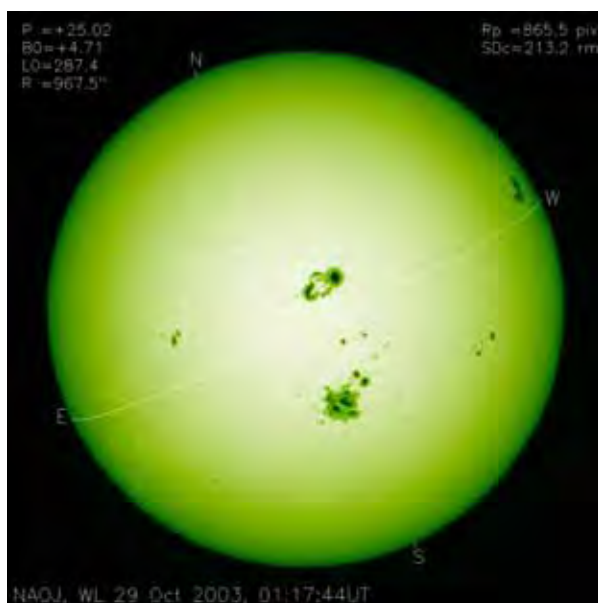


17 太陽や星にも磁気はあるの？

地球が磁気をもっていることは経験的にわかっていましたが、他の天体までが磁気をもっているかどうかについては、昔は人々の関心ごとではありませんでした。しかし、地球の中心に巨大な磁石が埋まっているわけではなく、電磁石になっている、つまり地球の内部に電流が流れているために、磁石になっているように見えているんだということがわかってくと、科学者は太陽も同じことではないかと考えるようになったのです。

20 世紀初頭になり、ゼーマン効果* という方法を使って、太陽黒点の磁場が測定されました。その結果、黒点の磁場は、地球の磁場の何と 1000 倍にもなることが発見されたのです。

その後、黒点の場所だけではなく、太陽全体としても磁場をもっていること、その磁場が約 22 年の周期で、南北が逆転している



2003 年 10 月 29 日の大フレアに伴う太陽黒点群

ことも見つかりました。黒点数が 11 年周期で増減を繰り返していることはよく知られていますが、それはちょうど 22 年の半分で、両者に密接な関係がありそうです。

太陽は、夜空に輝く他の星と同じようなものですから、他の星にも磁力があるはずです。光が弱いため、観測が困難ですが、恒星の磁場もどんどん見つかっています。星の集まりである銀河自体も磁力をもっています（49 参照）。も

* ゼーマン効果：磁場の中にある光源のスペクトルが何本かに分かれて観測される現象。



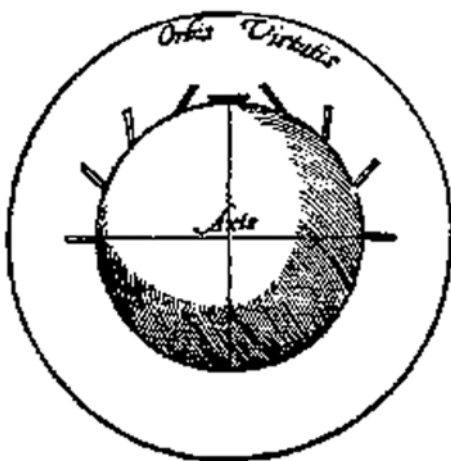
18 地磁気の発見者は誰？

地球の磁場 - その 2

地磁気というものがあるって、磁石を南北に向かせる不思議な力を及ぼすことに気が付いたのは古代中国の人たちです。彼らは、なぜそうなるのかまでは及びませんでした。その力を用いて、方角を知る方法として磁石を使ったという意味で地磁気の実見者ということができるでしょう。

地磁気的主要原因が地球の内部にあることをはじめて明らかにしたのは、イギリスのギルバートです。彼も、どういう仕組みでそうになっているかはわかりませんでしたが、地球の中が磁石になっているとすれば伏角の世界分布が説明できることに気が付いたという意味で、地磁気の実見者と呼べます。

この他、地磁気の強さを正確に測定したガウスや、外核の中の流体の動きで地磁気が発生できることを示したイギリスのブラッドなども、歴代の地磁気の実見者の一人と呼ばれてよいと思います。



ギルバートの地磁気模型

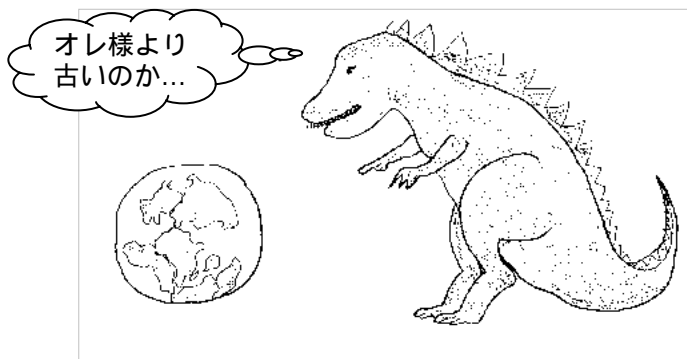


19 地磁気はいつごろからあるの？

答えは、「地球ができたころから」です。と言っても、誰かが測定したわけではなく、地球の熱的な発達過程をもとに推定されているだけです。

地球が誕生した直後は、中心の核は非常に高温で、全体が溶けていました。その中で、活発な熱対流運動が起こっていたため、強い磁場が生成されていたと考えられています。その後、地球全体が冷えて対流が弱まるにつれて地磁気も弱まってきましたが、内核ができると軽い元素が浮き上がるというメカニズムが働くために再び地磁気が強まりました。また、マントルの対流が活発な時代には、地磁気が比較的強かったとされています。このように、地磁気の強さは、地球全体の活動の度合いを反映しているともいえるでしょう。

内核ができたのは、今から 20 億年以上も前のことだと想像されていますが、正確にはわかっていません。カナダ、南アフリカ、オーストラリア、グリーンランドなどには、そのころの地磁気の性質が記録された岩石があり、最近これらの磁気を測定することによって、20～30 億年も昔の地磁気の様子をある程度知ることができるようになってきました。しかし、まだ信頼できる測定例が少なく、この時代のことは、まだまだわからないことだらけというべきでしょう。

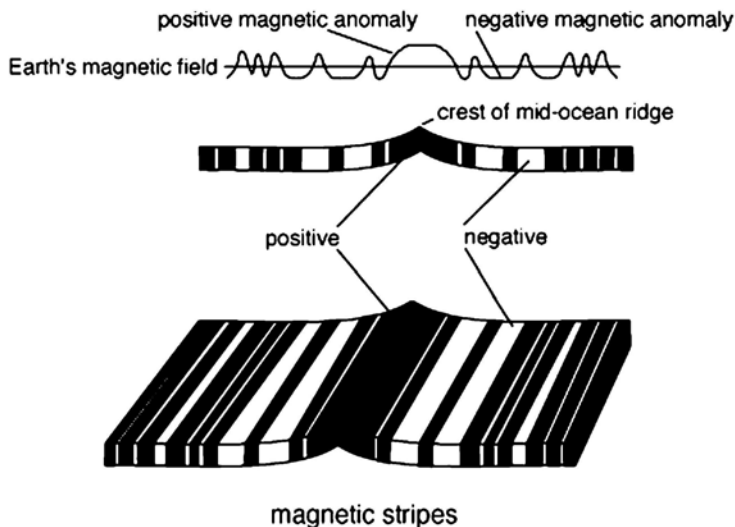




20 地磁気異常ってなに？

異常と聞けば、ただならぬ印象を受けるかも知れません。異常というのは標準からの「ずれ」のことです。

地磁気は、おおまかには、地球の中心に棒磁石があるような分布をしています。一つの棒磁石で完全にその全体分布を表すことはできません。そこで、複雑な地球磁場の分布を、ガウスが発明した球関数展開という数学的な方法でモデル化されています。モデルの作成のもとになるのは、世界各地の地磁気



海洋底の拡大に伴う地磁気異常。中央の海底の盛り上がり（中央海嶺と呼ばれます）で新しい海底ができ、左右対称に拡大します。海嶺から遠い海底ほど古い時代にできたもので、海底の岩石はその当時の磁場の情報を保存しています。図では黒が現在と同じ向きに磁化している場合で、逆向きの場合は白です。

観測所のデータですが、最近は人工衛星による観測データも組み込まれます。

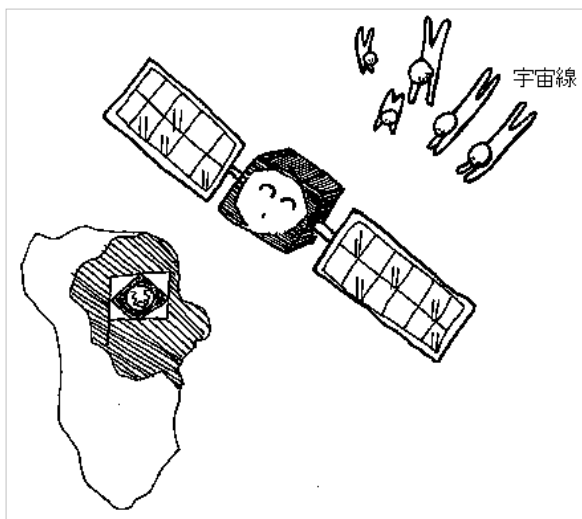
地球磁場の時間的変動も考慮するため、このような地磁気のモデルは 10 年に 1 度の割合で作成されています。これを標準磁場と呼びます。標準磁場は、空間スケールで、およそ 1000 キロメートルよりも大きな広がりを持った地球磁場の空間分布を表現しています。

地球表面で地磁気の分布を詳しく測定すると、この標準磁場では表わすことのできないほど、細かなスケールで空間的に変化している様子もわかります。通常は地殻の岩石の磁化による、標準磁場からのずれを地磁気異常と呼びますが、次項の「ブラジル異常」のような例外もあります。

火山は、顕著な地磁気異常をつくることで知られています。また、海洋底には、海洋底拡大の跡を示す縞状の磁気異常も見られます。



21 ブラジル異常ってなに？



おおざっぱに言うと、地球磁場の強さは両極付近において、赤道付近に比べおよそ2倍になります。つまり赤道付近の磁場はもともと平均的に弱いのですが、ブラジルの東海岸付近では、地球の磁場強度が極端に弱い領域が広がっています。この領域は「ブラジル磁気異常域」と呼ばれています。

前項の地磁気異常とは異なり、ブラジル異常は標準磁場にも明瞭に見ることができます。磁場強度が地球上最も弱いため「異常」と呼ばれますが、大きさや形が時間的に変動していることから、火山の影響などによる局所的な異常ではなく、核のダイナモ作用によって発生していると考えられます。

このように磁場が弱い場所では、地球の外から飛来する高エネルギーの粒子が比較的簡単に、人工衛星が飛行する高度にまで降りてくることができます。このため、ブラジル磁気異常域を飛ぶ衛星は、傷害をより強く受けやすいことが知られています。

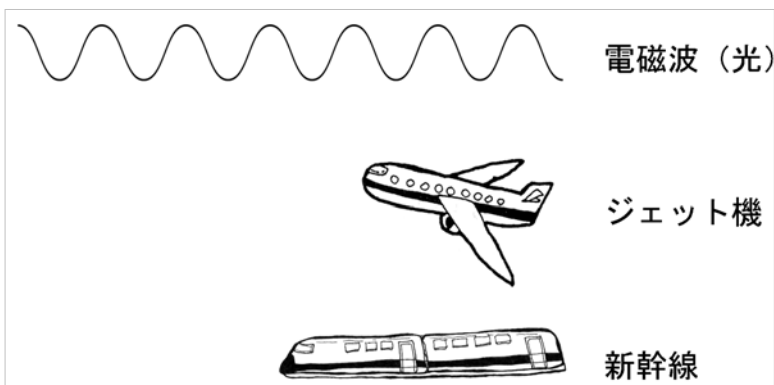


22 磁場と電磁波は違うの？

磁場とは、磁石や電流におよぶ力のことですが、電磁波というのは、空間を伝播する電場と磁場とで構成されている波のことです。どのように伝播するかというと、磁場の時間変化が電場を発生し、その電場の時間変化が磁場を発生するという連鎖が伝わるのです。

磁場の時間変化が電場を発生することを発見したのは、19 世紀前半に活躍したイギリスのファラデーという人です。その後、同じくイギリスのマックスウェルという人が、電場の時間変化が磁場を発生することを含め、電場・磁場の法則を現在知られる電磁気学の 4 つの基礎方程式にまとめました。さらに 1861 年、この方程式を用いて、電磁波が伝播することを数学的に明らかにしました。そして、伝播の速度が真空中では光速に等しいこと、つまり、電磁波と光とは波長（周波数といってもいい）が違うだけで、実体は全く同じものであるということも示しました。

その後、1888 年にドイツのヘルツが電磁波の存在を確認すると、1895 年にはイタリアのマルコーニが無線電信に成功して、電磁波の利用は急速に広がりました。





23 地磁気観測所ってどこにあるの？

世界中に 100 か所以上あります。日本の標準観測所は、茨城県石岡市柿岡（かきおか）にある気象庁地磁気観測所です。もともとは、第 1 回国際極年（1883～1884 年）を契機に東京の赤坂で観測を始めたのですが、1913 年に現在地に移転して観測を続けてきています。

気象庁は、柿岡以外に北海道の女満別と鹿児島県の鹿屋に出張所を持って、日本列島全体の地磁気の変化を正確に測定し続けています。他に、国土地理院の観測所が千葉県鹿野山と岩手県江刺に、海上保安庁の観測所が八丈島にあって地磁気観測を行っています。

鉄でできたものや電気をたくさん使うものは、どれも地磁気の測定にとってじゃまなノイズになります。従って、地磁気観測所は、すべて市街地から遠くの、環境の良い場所にあります。地磁気は、地球システム全体の活動を反映したものであり、その時間的な変動から太陽 惑星間空間-磁気圏の環境変動を知ることができる貴重なものです。従って、日本では、特別な法律によって柿岡の地磁気観測所の観測環境が守られています。

例えば、最近開通したつくばエクスプレスや常磐線の電車は交直両用で、地磁気観測に影響を与えそうな場所を走る時は、影響を与えにくい交流で走るようにできています。



つくばエクスプレス



24 地磁気観測所では何をしているの？

地磁気を常時、できるだけ正確に測定して記録するのが地磁気観測所の役割です。地磁気は強さと向きを持った 3 次元の量ですが、その 3 成分を正確に自動測定できる磁力計は存在しません。通常、地磁気観測所では、地磁気の強さを測定するプロトン磁力計*と、地磁気の 3 成分の時間変化のみを測定する地磁気変化計とよばれる装置が稼働しています。この 2 種類の磁力計は自動計測・記録がされています。

3 成分の値を正確に測定するためには、磁気儀と呼ばれる装置を用いて手動によって地磁気の方向を正確に測定した値と、プロトン磁力計による地磁気の強さの値を組み合わせるのが、現状では唯一の方法です。地磁気観測所では、観測員が手動による測定



三宅島に設置されたプロトン磁力計（白い三脚）。後方に噴煙を上げる雄山が見える。

を最低 1 週間に 1 度は行い、それ以外の時間の時間変化は変化計の値で追跡するという方法を採用しています。これによって、柿岡の地磁気観測所では毎秒 1 回、3 成分の値を 1 nT の正確さで、また時間変化は 0.1 nT の分解能で記録しています。

このように地磁気の観測データを記録として残すというのが地磁気観測所の最も大切な機能ですが、それ以外に、宇宙天気予報の基礎データとして利用されたり、地震や火山の活動の監視のための基準データとして用いられる等、さまざまな分野で役立てられています。

* プロトン磁力計：水素の原子核（プロトン）の磁氣的性質を利用して磁場の強さを正確に測定する装置。

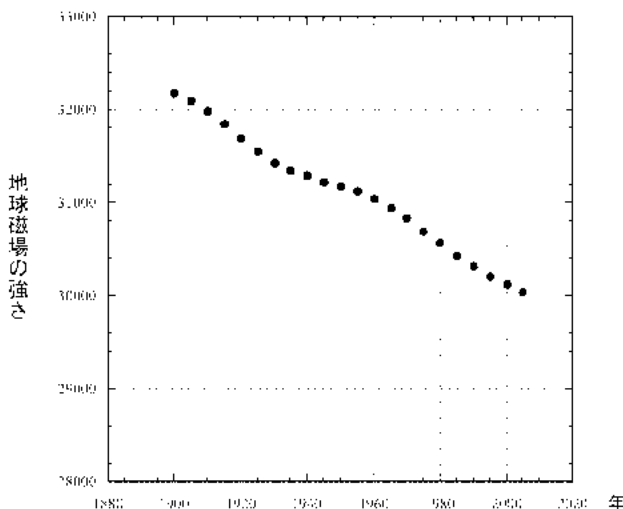


25 地磁気は今弱くなっているって本当？

地球磁場の変動

本当です。近代的な観測が行われるようになった過去 100 年あまりの間に、地磁気の強さはすでに約 10% 減少していることがわかっています。このまま減少し続けると、1000 年あまり後には地磁気がほとんどなくなってしまうことになります。

しかし、こういう予測は（たまたま本当かも知れませんが）恐らく意味がありません。というのは、近代的な測定がなされる以前の地磁気の強さを調べてみると、およそ 2000 年前には現在よりも 50% くらい地磁気が強かったこと、今から 6000 年くらい前には逆に今の半分くらいの強度であったことがわかります。すなわち、現在見られる地磁気の減少は、少なくとも過去 1 万年くらいの間に繰り返されてきた地磁気の増減の、ほんの一部を見ているものと考えられるのです。



1900 年から 2005 年までの地球磁場の強さの変化。地球磁場の強さは、地球磁場を 1 本の棒磁石（双極子という）で表わした場合のモーメントのこと。



26 地磁気が無くなってしまうことはあるの？

現在地磁気はどんどん弱くなっていますが、このまま小さくなって無くなってしまうことはなさそうです。地磁気は流体の外核の中のダイナモ作用によって発生していますから、外核が現在のような状態である限り、一時的に弱くなることはあっても完全に無くなってしまうことはないでしょう。

前に述べたように、地球の内核は、鉄などの重い金属がだんだん冷えて固まったものです。地球が冷えて内核が大きくなるにつれて、外核の体積は小さくなっています。このまま地球が冷えて行くと、いつかは核全体のほとんどが固体になって、もはやダイナモ作用は起こせなくなる時が来るはずです。しかし、これは何十億年も先のことです。

地球上に人類が登場してからまだ一千万年にもなりませんので、人類が存在する間に完全に地磁気が無くなってしまうことはないと言ってよいでしょう。





27 地磁気が無くなってしまうとどうなる？

私たち地球上の生命は、宇宙の過酷な条件から 2 つのバリアで守られている、とよく言われます（「オーロラ 50 のなぜ」参照のこと）。2 つのバリアとは、地球のもつ大気と磁場のことです。

大気の有難味は、ふだんから直感的にわかっていますが、磁場となると皆さんはあまりピンとこないようです。何しろ、目の前にあるこの空気が突然無くなってしまうと呼吸ができなくなり大変なことになるのは容易に想像できますが、目の前にある磁力線が何本か無くなっても私たちの生活にあまり影響はないだろうと考えてしまいますね。

ところが、宇宙を飛び交っているエネルギーの高い粒子がこの地球上へ到達するのを防ぎ、私たち生命を守ってくれているのが、地球のもつ大気と磁場なのです。高エネルギーの粒子が生命を繋ぐ遺伝子に衝突すると、ガンや奇形が増えたり、他の動物にも影響を与え、この地球上の生命にとって大変なことになります。

大気と磁場を 2 つのバリアといいますですが、地球の磁場が無くなると、太陽風が地球の大気をも吹き飛ばしてしまうことにもなります。



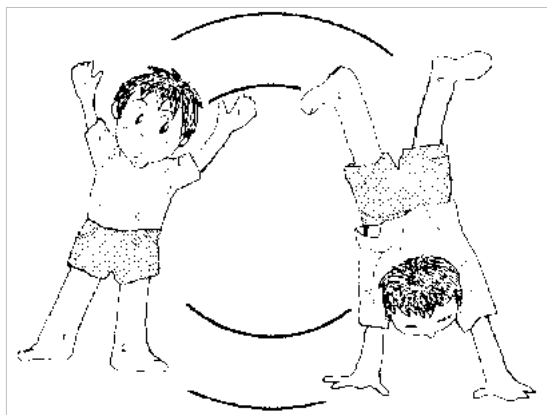


28 地磁気の逆転ってなに？

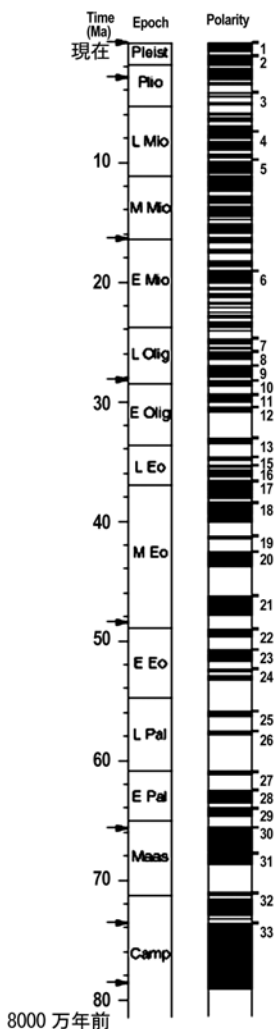
前に述べたように、地磁気は時々刻々変化してはいるのですが、日常に見られる変化は磁気コンパスの針の動きとして目で見るのが難しいほど微弱なものです。ところが、長い地球の歴史を通してみると、コンパスの向きを反対にする出来事が何回も起こっていることが知られています。このような出来事を「地磁気の逆転」と呼びます。

逆転にかかる時間は、数千年程度であると考えられます。逆転の様子は、地磁気が強さを変えずにクルンと向きを変えるのではなく、一方の向きの磁場がだんだん弱くなって、逆向きの磁場が次第に強くなるということのようです。従って、逆転の一時期は地磁気が弱くなることもあるようです。

一度逆転すると、10 万年から 100 万年くらいは同じ向きの状態が続きます。現在からみて、最後の逆転は、およそ 78 万年前にありました。古い地層から出てくる岩の中に現在と逆向きの磁気をもったものがあることにはじめて気付いたのは、フランスのブリュンヌという人です。日本では京都大学の松山基範（1884～1954 年）が、朝鮮半島の岩石の中に逆向きの磁気をもつもの



を発見し、それをもとに地磁気の逆転を唱えました。これらのことから、78 万年以前の逆向きの時代を「松山期」、それ以降現在までを「ブリュンヌ期」と呼び、両者の境界をブリュンヌ - 松山境界と呼ぶことになりました。



現在（上）から過去 8000 万年前（下）までの地磁気の逆転の様子。バーコードの黒は地磁気が現在と同じ向き、白は現在と逆向きの時代を表しています。

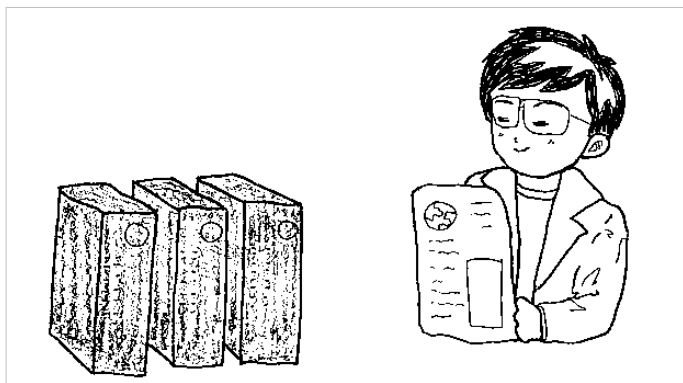


29 地磁気はどうして逆転するの？

どうして地磁気が逆転するのか、現代の科学では答えを出すことはできません。それだけではなく、逆転するのには明確な理由があるのかどうかも、実のところよくわかっていません。

地磁気の逆転は、ダイナモ理論によるコンピュータシミュレーションで、再現することができます。核の中のことがよくわっているわけでもなく、コンピュータの能力による限界もありますが、たいていの場合は逆転が見られますので、逆転はごく普通のことであると思われます。

シミュレーションの結果で面白いのは、地磁気の向きが逆転しても核の中の流れの様子にはほとんど変化がないということです。逆転すると全体の流れが逆向きになるわけではないのです。外からきっかけになるようなものを何も与えなくても、逆転は不規則に起こるようです。また、地球の自転速度のほんのわずかな乱れなど、小さなことがきっかけで地磁気の逆転が起こってしまうこともあるようです。



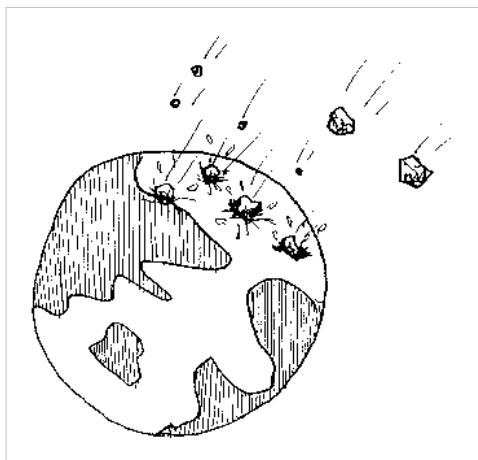


隕石や彗星の衝突が 地磁気を逆転させるって本当？

本題からは少しそれます。地磁気の逆転に限らず、一般に物事には原因と結果がありますが、両者の関係は必ずしも明白でないことがしばしばあります。そういう場合は、さまざまな可能性の中から、本質的なものとそうでないものを区別する必要があります。これが、自然科学者の重要な役割の一つといえることができます。

さて、隕石や彗星の衝突に対する答えですが、地磁気の逆転を引き起こすことは十分に考えられます。というのは、環境変動で両極地方の氷が融けたり固まったりすることによる、衝突よりはるかに「ささやか」に思える自転速度の乱れですら、逆転のきっかけになるのではないかと考えられているからです。

こうして考えると、地磁気の発生というのは、変動する地球全体のシステムの一部だということがわかります。地球全体のシステムは、複雑で微妙なバランスの上になりたっています。人類の活動ですら地球システムの一部であるという考え方が必要で、現に地球温暖化などの環境変動を起こしています。

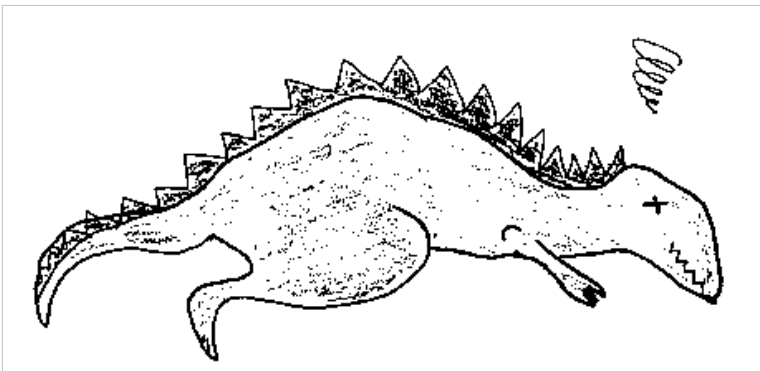




31 恐竜などの生物の絶滅は 地磁気の逆転と関係ある？

恐竜が絶滅したのは、およそ 6500 万年前のことです。この他にも、地球上のほとんどの生物が一斉に姿を消す大絶滅が何回あったことが知られています。こうした絶滅が、地磁気の逆転の時に磁場強度が弱まったことと関係があるという考え方があります。生物が危険な高エネルギー粒子にさらされたことによる、という考えです。たしかに、地磁気が逆転する時には、磁場が弱くなると考えられますが、それによって宇宙物質の地上への放射がどのくらいの量になるのか、よくわかっていません。従って、地磁気の逆転によって生物の大絶滅がもたらされるかどうかよくわかりません。

「わからない」というだけでは答えにならないので、あえてイエスカノーかで答えれば、恐らくイエスの可能性は低いでしょう。こう考える理由の一つは、地磁気の逆転は、生物の大絶滅の頻度に比べればはるかに頻繁に起こっているということです。つまり、大絶滅とほぼ同時に起こった地磁気の逆転はたしかにありましたが、他のほとんどの逆転は大絶滅とは何の関係もなく起こってきたのです。統計的には、両者の間は無関係と考えるべきだということになります。





32 大昔の地磁気のことはどうやって知るの？

岩石や土の中には、鉄の酸化物が 1～3%程度含まれており、これらは磁性鉱物と呼ばれています。磁性鉱物を加熱して温度を上げていくと、その鉱物に固有の温度（キュリー点）に達したとき、持っていた磁性が失われます。代表的な磁性鉱物である磁鉄鉱のキュリー点は、およそ 600 くらいです。逆に、高温の状態から冷えて温度が下がってくると、キュリー点より下がった時から再び磁化を獲得します。キュリー点の発見者は、キュリー夫人の夫のピエール・キュリーです。

地球には常に地球磁場（地磁気）がかかっているので、冷却によって磁性鉱物は地磁気の方に磁化されます。このような磁性鉱物を含む岩石（火山岩）の磁気は、獲得した時の地磁気の情報をもずっと記録しているわけです。この性質を利用して、岩石の磁気測定と生成した年代の測定を組み合わせることによって、地質時代をさかのぼって大昔の地磁気のことを推定することができます。このような研究をする学問分野を、古地磁気学と呼びます。

海底に堆積物がゆっくりと堆積する時、砂鉄は地球磁場の影響を受けるので、昔の地球磁場は海底の堆積物（泥）にも記録されます。また、人類が焼き物を作るようになってからの時代の地磁気の様子は、遺跡から発掘される焼き物の磁気を測定して手がかりを探ったりもします。

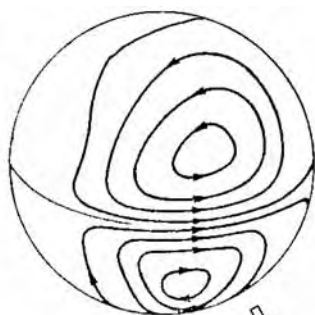




33 地磁気の日変化ってなに？

地磁気はさまざまな時間スケールで変化しています。数十年よりも長い時間スケールの変化は、地球の内部、すなわち外核のダイナモ作用によって発生しているものです。それよりも短いスケールの時間変化のほとんどは、地球の外側、すなわち電離圏や磁気圏に原因があります。地磁気の日変化は、1 日周期の規則正しい変化で、英国のグラハムという人が発見しました。1722 年のことです。日変化の様子が明瞭に見られるのは、太陽風の影響による擾乱（地磁気の乱れ）が小さな日なので、地磁気静穏日と呼ばれます。

静穏日の日変化の原因は、地表から 100 km 以上の高さにある電離圏（大気的气体分子が一部電離して電気を帯びている領域）にあります。電離圏が、昼間は太陽からの放射で暖められ夜間は冷やされ、内部に風が発生すると、電離している気体も風と一緒に運ばれます。この電離気体の運動と地球磁場との相互作用によって、地球の外側から見て昼間の北半球で反時計回り、南半球で時計回りの大規模な渦電流ができます。この電流系は、常に太陽を向いている側に存在しますので、地表で地磁気の観測をしていると、毎日繰り返し電流系の下を通過することになります。この渦状の電流のつくる磁場が、地磁気の日変化です。



太陽

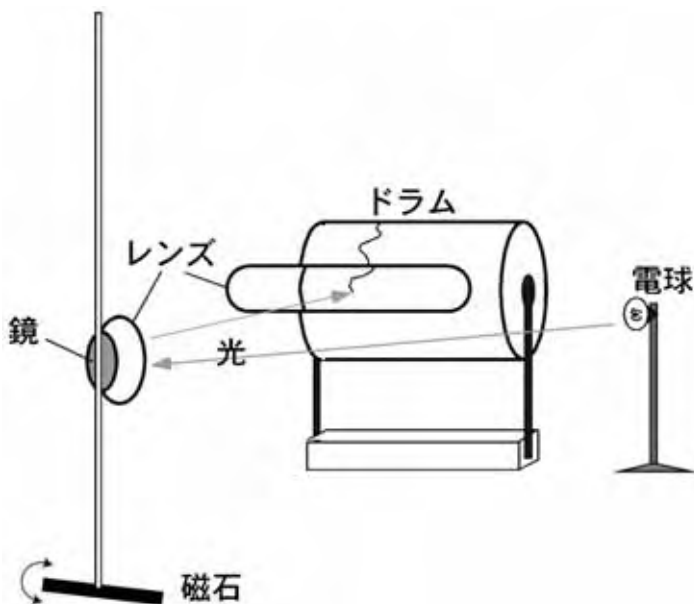
地磁気の日変化を説明する電離圏電流システム



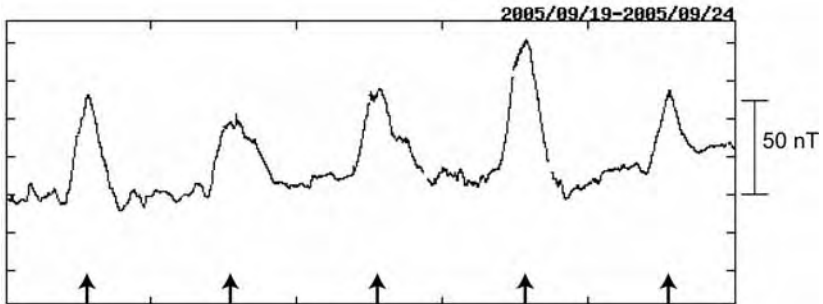
34 地磁気の日変化の大きさは？

日変化の大きさは、日本付近では平均すると地磁気の強さにして 50 nT くらいです。つまり地磁気の強さそのものの 0.1 パーセント程度の、非常にわずかな変化です。磁気コンパスの針の振れ角すなわち偏角の日変化は、角度で 3 分の大きさ程度しかありません。

このくらいの角度の変化でも、急激におこれば針の動きを目で見ることできますが、日変化は何時間もかけてゆっくりと変化



吊り磁石式地磁気変化計。暗い部屋の中で、鏡をつけた細い糸で磁石を南北に向けてぶら下げ、鏡で反射した光がドラム上に像を結ぶようにしてあります。偏角が変化すると磁石が回転しますので、鏡の向きが少しだけ変わります。ドラムに感光紙を巻き付けて一定速度で回転させると偏角の時間変化を記録することができます。



地磁気水平成分の日変化(グアム島)。2005 年 9 月 19 日 - 23 日の 5 日間について示す (矢印は正午)。

するので、目で見ることにはできません。偏角の日変化による磁石の動きを見るためには、動きを拡大する必要があります。例えば、磁石を細い糸で吊って、糸に鏡をつけたものを用意します。この鏡に前方から光をあてて反射した光の通る位置を、少し離れたところで見ることになります。磁石の向きが変化すると糸がねじれますので、鏡の向きもわずかに変化することにより反射した光の通る位置も変わって行きます。光源と鏡と測定する場所の距離が大きければ大きいほど、糸のねじれを拡大してみることができますね。最近ではあまり使われませんが、実際にこのような原理で地磁気の微小な時間変化を測定する器械があって、吊り磁石式地磁気変化計と呼びます。



35 オーロラが出ると地球磁場が変化するの？

オーロラは、宇宙から飛んできた電気を帯びた粒子が、地球の大気と衝突して光る現象です。極地方の磁力線は、より宇宙に近いので、高緯度では毎晩のようにオーロラが見られます。

オーロラ粒子は大気に衝突して電離させ、電気を流しやすくします（「オーロラ 50 のなぜ」参照）。すなわち、オーロラの中には電流が流れているということです。

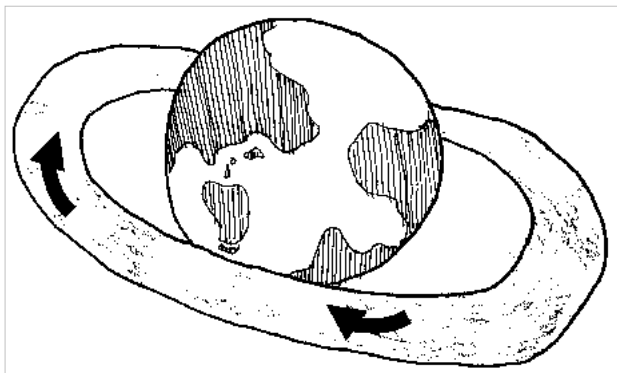
電流が流れると、その周りに磁場をつくります。このオーロラ電流による磁場が、ふだんからある地球の磁場に加わることになりますから、オーロラの強度によって地球の磁場も変化するというわけです。

アラスカ、カナダ、北欧に強いオーロラが現れると、世界中の磁場が変化します。例えば、日本で磁場の観測をしていて、ある種の磁場変動が見られたら、いまどれくらいの強度のオーロラが高緯度に出ているか、診断することさえできます。





磁気嵐ってなに？



読んで字のとおり、地球の磁場が乱れることを磁気嵐といいます。実際上、磁気嵐と呼ぶにはある程度の大きさが必要です。いくら見事なオーロラが出て、世界中の磁場が変化しても、それだけでは磁気嵐とは言いません。

磁気嵐が進行中であるか否かは、オーロラではなく、中低緯度の磁場の变化で決めます。赤道面を中心にして、地球を取り囲んで西向き電流が流れ（環電流と呼んでいます）、この電流は普段の地球の磁場と逆向きの磁場をつくるので、中低緯度で磁場を弱めます。このような状態が、少なくとも 2～3 日続いたら磁気嵐です。もちろん、このようなとき、高緯度では活発なオーロラが連続して舞います。ときには、昼間側でもオーロラを見ることができます。

つまり、厳密に言えば、「逆は真ならず」ということです。しかし、色のついた動きの速いすばらしいオーロラが何日も連続で出現したら、そのようなときはまず間違いなく磁気嵐のときでしょう。



37

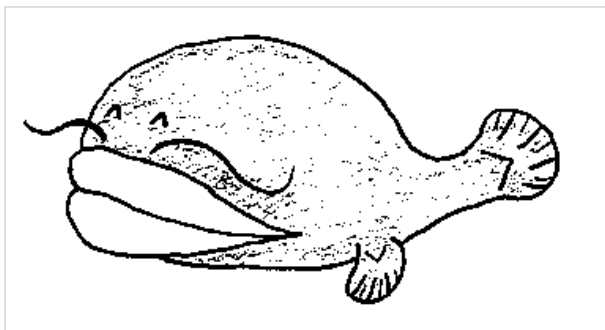
地震の時に磁場が変化するって本当？

地震火山と地磁気

昔の言い伝えに、ぶらさげてあった鉄製の農機具等が、地震の前に床に落ちたなどというものがあります。農機具を落とすためには現在の地磁気よりも強い磁場の変化が必要なので、この話は地震の時の揺れで落ちたのが、大げさに誤って伝えられているものではないかと思われます。

では、地震の時に磁場が変化することは無いのかというと、数は少ないのですが実際に観測された例がいくつかあります。地震の揺れによって磁場センサーが動いてしまった可能性がある場合を除くと、確かな観測例はいずれも 1 nT 程度の非常にわずかな変化を検出したものです。

これら地震時の磁場変化は、岩石に含まれる磁性鉱物の磁気が地殻の変化によって変化することによると考えられています。地震観測のデータから、震源の断層に働いた力を求め、その力によって観測された地震に伴う磁場変化が量的にも説明できた例が、いくつか報告されています。





38 地磁気の観測で地震を予知できる？

地磁気の観測に限らず、実用的な意味で地震予知を行う方法はまだありません。地震が発生する直前には、震源の断層面にかかる力がゆっくりと変化すると予想されているので、日本の予知計画では、それに伴うわずかな地盤の変動を検出することが有効とされています。力が地震前に変化すれば、圧磁気効果*で磁場が変化することも考えられます。しかし、地震発生時の変化に比べ、小さく非常にゆっくりしているので、磁場の变化もそれに比例して小さいことが予想されます。このためか、地震の前に磁場の变化が観測されたという報告はほとんどありません。

圧磁気効果以外にも、地震の前に磁場を変化させるメカニズムはいくつか考えられており、さかんに研究が行われています。このような磁場の性質が明らかになれば、これを観測によってとらえる努力をすることにより、原理的には予知が可能であると言えます。しかし、原理的に予知が可能であるとしても、科学的な検証を経て実用化に至るまでには、さらに相当の時間が必要であると思われます。



* 圧磁気効果：圧縮や引っ張りなどの力によって、磁性鉱物の磁気に変化する現象。



39 溶岩の近くでは 磁場が乱れているって本当？

溶岩には、磁気をもった鉱物（磁性鉱物と呼びます）が含まれています。磁気の強さは、岩石全体に含まれる磁性鉱物の割合や、含まれる磁性鉱物の種類によって異なります。中でも玄武岩と呼ばれる溶岩は、強い磁気を帯びていることがよく知られています。ハワイや伊豆大島の三原山などは、玄武岩溶岩を噴出する火山です。富士山からも、青木ヶ原溶岩のように非常に磁性の強い溶岩が噴出されたことがわかっています。

溶岩は、いわば不規則な形をした永久磁石であると言えます。したがって、溶岩の周囲では複雑な形をした磁場がつくられています。これが地磁気に比べて無視できるくらい弱ければ、地磁気の乱れはなく、磁気コンパスは北の方向を指します。しかし、溶岩の磁気が強い場合、その影響で磁気コンパスの指す方向は場所によって大きく乱れることになります。20 で述べた地磁気異常です。



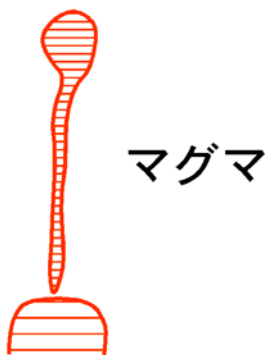
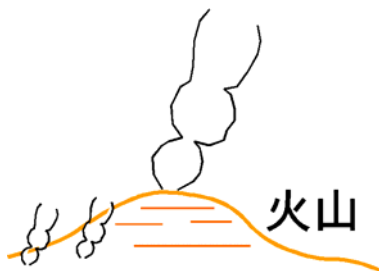
富士山は日本を代表する火山です。貞観時代(西暦 864 年)には北麓に青木ヶ原溶岩を噴出しました。現在、一帯は樹海になっていますが、溶岩の強い磁気の影響でコンパスが狂うことがありますので、注意が必要とされます。



40 火山が噴火する時に磁場は変化する？

活火山の中には、桜島のように年間何十回も爆発的噴火を繰り返している火山もありますが、阿蘇山、三宅島、伊豆大島、有珠山のように数十年ごとに噴火を繰り返す火山や、雲仙普賢岳のように数百年という休止期をもつものもあります。

休止期が終わって活動期に入るとするのは、地下の深部からマグマが地表まで移動を始めるとことです。この移動に伴って、周囲に小さな地震を発生させたり、火山体全体を変形させたり、高温のマグマから火山ガスを放出したり、マグマの通り道周辺の岩盤を熱したりします。マグマだけでなく、マグマより移動しやすい火山ガスや熱水（熱せられた地下水）などによっても、加熱が起こることがあります。火山体は磁性鉱物を含む溶岩できて



火山の地下10キロメートルくらいの深さにはマグマ（高温で溶けた岩石）があります。マグマが地表まで出てくると、噴火が発生します。

いますので、熱せられると岩体の磁気が弱くなり、周辺で磁場が変化します。

火山の爆発は、マグマの中のガスあるいは火山の地下にある水蒸気の圧力が高まって、一気に吹き出す現象です。たまっていた圧力を一気に解消するので、爆発と同時に圧磁気効果による磁場の変化が発生することがあります。圧磁気効果の観測は、爆発の大きさ（ガスの圧力や体積）を知るために重要ですが、変化量が小さいため難しく、検出した例はあまり多くありません。

噴火によって地表に吹き出す時のマグマの温度は、1000 度をこえるほど高温なので、噴出した時、マグマは磁性がありません（32 参照）。しかし、地表に噴出すると次第に冷えて磁性鉱物が固まり、温度がキュリー点よりも下がると磁性を獲得しはじめます。このため、冷えつつある溶岩の周りでは非常に大きな磁場の変化を測定することができます。



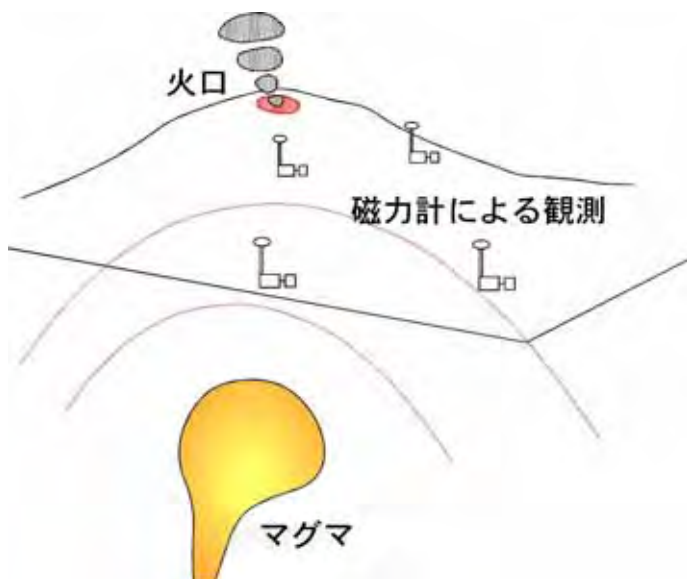
伊豆大島火山の噴火



41 地磁気の観測で噴火を予知できる？

前項で述べたように、マグマが地表近くまで移動してきて周辺の岩体を熱すると磁場の变化をもたらすので、地磁気の観測は噴火の予知に有力な手段とされています。実際にいくつかの火山では噴火の前に地磁気が変化して、噴火の予測に役だった例があります。一つの火山で火口を取り囲むように複数の場所で地磁気の観測を行うと、検知された地磁気変化の原因が、岩体の磁気が部分的に消失したのか、それとも逆に増大したのかを推定することができます。部分的に消失したのであれば、その部分の温度が上昇したことを意味します。

火山噴火の予知には、地震計や、地盤の傾きや伸び縮みを正確



熱せられたマグマ周辺の岩盤が磁性を失うのを、地表の磁力計による観測で検知することができます。

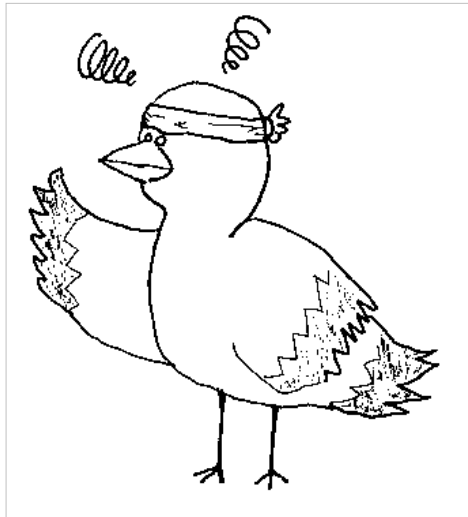
に測定する装置、温度計など、さまざまな観測手段が用いられます。マグマが移動してくると、周辺の岩盤を加熱するので、温度測定による方法は非常に直接的に思えます。しかし、地下で岩盤の温度変化があったとしても、それが地表に伝わるのには時間がかかります。地磁気測定による方法の利点は、温度変化によって地下の岩体の磁性が変化すると、それが時間の遅れなしで地表で観測される磁場変化をもたらすことです。地磁気を変化させる要因は他にもいろいろありますので、それらを正確に区別しなければならないという問題はありますが、日本の噴火予知計画でも、地磁気観測は有力な方法の一つとして実施されています。



42 磁場を感じる動物がいる？ - その 1

磁場を感じる動物でもっとも広く知られているのは、伝書バトでしょう。つまり、伝書バトは頭部に磁気コンパスをもって、天気の悪い日でも夜でも、正しい方向を探っているということです。ハトにわざと度の合わないコンタクトレンズをはめたり、頭に磁場を乱すコイルをつけたりして意地悪な実験を繰り返し、ハトの帰巢性のナゾがだんだん解き明かされてきたというわけです。実際、ハトの脳にマグネタイト磁針があることも発見されています。

渡り鳥や航行性の魚類、イルカやクジラも、地球の磁場をセンサーとして使っていることが、だんだんわかってきました。これらの動物は、オーロラや磁気嵐で地球の磁場が乱れると、自分の行く方向を失ってしまうことになります。伝書バトレースは、磁気嵐が予報されているときには中止になります。



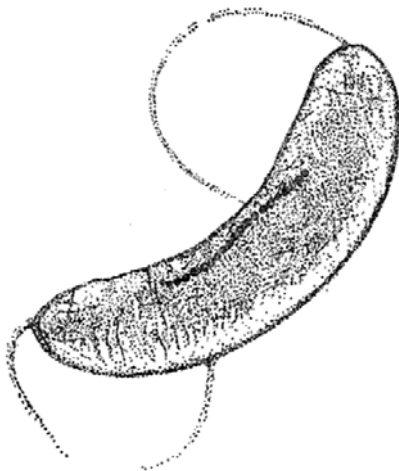


43 磁場を感じる動物がいる？ - その 2

細菌の仲間にも磁場に敏感な種類があります。走磁性細菌と言われ、磁場の方向に動く性質をもっています。このような細菌は、泥の下の方に進むために磁場の方向を使っていると推測されます。敵から逃れるためか、このような細菌の好む低酸素の場所へ移動するとき、磁場を使うというわけです。

北半球の細菌は磁場の方向、南半球の細菌は磁場と逆の方向が地中深い向きです。南北半球の細菌を差し替えてやると、もはや生きていけないということになりますね。磁場の方向が地面に平行になる赤道付近に棲む細菌は、また別の生きるすべを心得ているのでしょう。

走磁性の細菌には、磁針がびっしりとつながっているのが発見されています。



走磁性細菌の鉄粒子。細胞の左側に沿ってじゅうず状に並んだ約 20 個の磁鉄鉱粒子がみられる。



44 磁場を感じる植物もある？

動物だけではなく、植物にしても、この地球磁気という環境の中で生まれ育ってきたわけですから、何らかの影響を受けているはずだと考えるのは自然ではないでしょうか。この場合の影響というのは、植物の発芽や成長のことです。

例えば、植物の根や葉っぱが地球の磁場の方向に対して敏感に作用することが、小麦、キュウリを始め、多くの植物に対して調べられています。種子の幼根が磁気の南を向く時、発芽の割合が高いということです。タマネギの球根からの根の伸びの方向も、磁場に影響されることが調べられています。強い人工の磁場を与えると、枝根、分岐根などの異常発生が確認されています。

植物に限らず、ヒトのような生体では組織、細胞レベルで、磁場の微妙な変化に反応していることは十分考えられます。五感が発達している人間を基準に、生体の環境変化への影響だけを考えていてはいけないということです。例えば、「磁場は人間の目には見えないから、影響はない」としてしまうのは誤りでしょう。





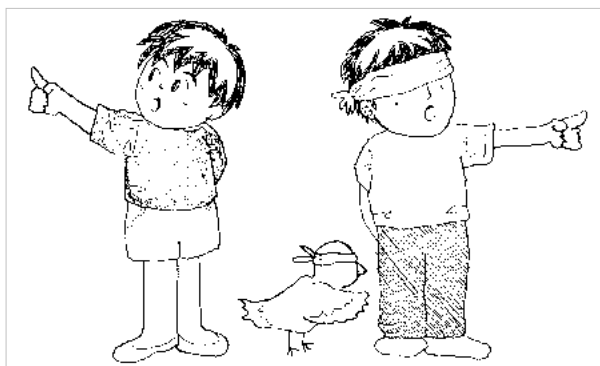
45 人間も磁場を感じるの？

動物が磁場を感じているのなら、人間だってと考えるのは当然ですね。人類誕生以来、地球の磁場の中で生き、そして進化をしてきたわけですから、人間様だけが例外であると仮定する方がおかしい。あなたは見知らぬ土地で、「どっちが北？」と突然聞かれて、正しく北の方角を指すことができますか。難しいですね。

しかし、ちょっと考えてみましょう。あなたは、「どっちが北？」と聞かれた時、とっさに北の方角を当てようとして何をヒントにしようと思いますか。太陽の位置ですか、それとも今歩いて来た方角ですか。それとも、風の向きですか。

そう、人間は動物のように単純ではなく、「どっちが北のにおいがする？」というようなきわめて単純な質問でさえ、余計なことを考慮に入れて、質問を複雑にしてしまうのです。

イギリスのマンチェスター大学では、なるべく単純そうな学生を多数選び出し、目隠しをしてバスに寄せ、田園道をぐにゃぐにゃと何十キロか走り、出発点の方角を当てさせるというテストを繰り返し行いました。その結果、かなりの高い確率で正解が出ること、女性の方がよく当てることができること、目隠しをしないグループの方が当る率が低いことがわかったのです。人間の第六感、ひょっとして磁力を感じることも知れません。





46 地磁気は人の健康に影響を及ぼすの？

東洋医学では、磁気も健康に影響を及ぼす「気」の一種とみなされています。しかし、自然科学の立場から言えば、地磁気が人の健康に直接影響することはないと考えられます。このことは、地磁気が人を含む生命の健康状態と無関係であるという意味ではありません。例えば、地磁気が弱くなれば宇宙線の照射が増え、人の健康に甚大な影響を及ぼすことになるかと予想されますし、国際線、特に極周り路線のパイロットは、宇宙線を多く浴びるので、その健康への影響が問題にされています。

地磁気の影響への健康という場合、電磁波の影響と混乱している場合もあるようです。電磁波の照射により、発ガン性が増大するという報告もあって、電磁波が健康に影響を及ぼす可能性は否定できません。また、心臓のペースメーカーを使っていると、強い電磁波を浴びることは危険です。これらは、あくまでも高い周波数の電磁波のことを言っており、地磁気の影響とはだいぶ違います。

現代文明生活においては、たくさんの電化製品が使われており、それらの中には地磁気の影響を受けるものもあります。そういう製品の誤動作などが健康に影響を及ぼすというように、間接的な影響はあり得ます。



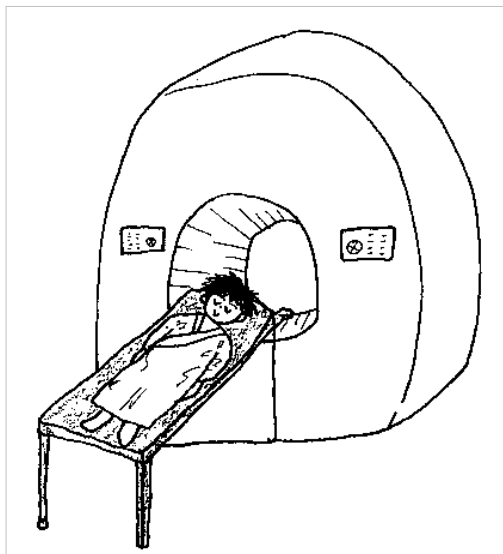


47 MRI ってなに？

磁場いろいろ

私たちの体の内部を視るには、X線や超音波を使って画像にする方法がありますが、この他に磁場を使うMRIという強力な方法があります。強い磁場のもとで起きる核磁気共鳴（NMR）という現象をキャッチするのです。

人間を強い磁場の中に入れると、体内の水分から磁場に対する共鳴現象の信号が出ます。これをコンピュータ解析して、いろいろな角度から視た断面図を作成することができます。体中の水分の濃さに関係した画像が得られますから、X線で見ることができない、「やわらかい」臓器の写真の撮ることができ、全国の病院で活躍しています。



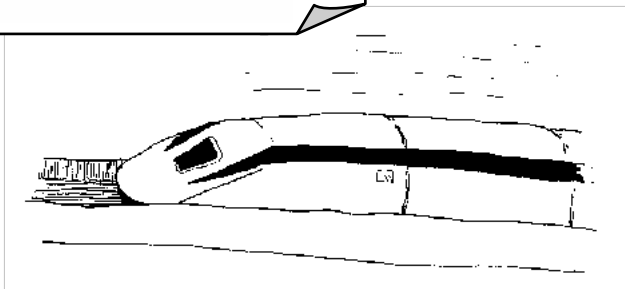
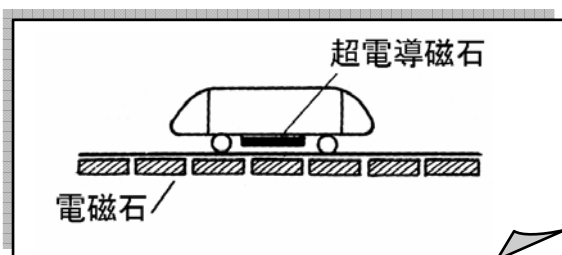


48 リニアモーターカーってなに？

磁気力で浮上し、超高速で走ることができるリニアモーターカーは、リニア（直線）モーターで走ります。モーターと言えば、ふつう自動車や電車のクルマなど回転する運動を思いますが、モーター（motor）という言葉が辞書で引いてみると、「運動を起こすもの」と出ており、必ずしも回るものだけを指すわけではないことがわかります。

さてリニアモーターカーというのは、文字通り、直線運動をするモーターのことです。図でわかりますように、車両の底に超電導磁石*を張り付けておき、線路に電磁石を並べておくという原理。電磁石のスイッチを次々に入れたり、切ったりしてやれば、いかにも線路上に置かれた磁石が動いていると同じことになりますね。その動きに引かれて車両が動くというわけ。線路から車体を浮かせてやれば、抵抗も少なく、スピードも出せるというわけです。

* 超電導磁石：極低温で物質の電気抵抗がゼロになることを利用した強力な磁石のこと。





49 宇宙にも磁場はあるの？

太陽や惑星が磁場をもっていることを話しましたが、夜空に輝く星の多くからも磁場が発見されています。今では、磁場が星の進化に基本的な役割を果たしているのではないかとさえ想像されています。銀河系の中心にも、また銀河の渦に沿っても、磁場があることが観測されています。

磁場は、星が一生を終わる時の大爆発、すなわち超新星爆発、さらにブラックホールができる重要な引き金（トリガー）になっていることすら考えられます。あらためて「宇宙はなぜ磁場をもつのか」と問われると、答えるのは難しいことですが、ひょっとして当たり前なくらいのことかも知れません。磁場は、宇宙の創世にとってなくてはならない本質的なことのような気がします。



我々の銀河系の隣にあるアンドロメダ座の渦巻き状銀河



50 モノポールってなに？

磁石は、N極とS極とをもっていますね。砂鉄の実験を思い出すまでもなく、N極から出た磁力線はS極へ入ります。つまり、N S極がいつもペアで存在することなのです。棒磁石を半分に割っても、そのそれぞれの半分の磁石に、またN極とS極がペアでできてしまいます。

しかし、本当にいつもそうなのでしょうか。N極だけ、あるいはS極だけ、単独で存在することは絶対にできないのでしょうか。電子はマイナスの電荷で、立派に単独で存在できるではないか、と考えたことはありませんか。

実は、まだ単独のN極やS極、つまりモノポール、が見つかったことはありませんが、絶対に存在しないということも証明されていません。モノポールができるには相当大きなエネルギーが必要なので、宇宙創世のときにつくられた可能性があり、宇宙のどこかをさまよっているのが、いつの日にか発見されるかも知れませんね。



磁石は北を指さない

1492年スペインの港を出航し、西へ西へと航海したコロンブスがアメリカ大陸を発見したことは有名ですね。ところでコロンブスは、アメリカ大陸を発見しただけではなく、磁気コンパスが必ずしも地理上の北を指さないこと、しかもそのズレ（偏角といいます）が場所によって変わることも見つけました。

16 - 17世紀になると、世界のいろいろな場所での偏角がわかってきました。ハレー彗星の発見で知られるハレー（イギリスの天文学者）は、偏角の世界地図をつくったことでも知られています。

資料 / イラストの提供・出典一覧

7	伊能忠敬肖像：伊能忠敬記念館 大日本沿海輿地全図：国立国会図書館
9, 13, 28, 49	フリー百科事典「ウィキペディア（Wikipedia）」
10	国土地理院
17	国立天文台太陽観測所
18	De Magnete より
20, 34（データ）	米国地質調査所
24	鍵山恒臣
25	国際標準磁場モデルから作成
40	東京大学地震研究所
43	「生物は磁気を感じるか」前田坦 講談社



茨城県石岡市柿岡にある気象庁地磁気観測所の様子（23 参照）。各建物は非磁性の材料で建てられており、内部に磁力計のセンサーがおかれています。これらのセンサーを用いて、世界最高レベルの観測が常時行われています（気象庁地磁気観測所提供）。



三宅島に設置されたプロトン磁力計（24 参照）。



富士山の北麓に位置する樹海では、溶岩の強い磁気の影響でコンパスが狂うことがあります（39 参照）。



伊豆大島火山の噴火（40 参照）。



発行日	2006 年 2 月
企画・制作	名古屋大学太陽地球環境研究所 東京大学地震研究所 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	歌田久司 / 上出洋介 大村 純子 野田ゆかり
発行	名古屋大学太陽地球環境研究所 (〒442-8507 豊川市穂ノ原 3-13) http://www.stelab.nagoya-u.ac.jp/ 東京大学地震研究所 (〒113-0032 東京都文京区弥生 1-1-1) http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/index-j.html
印刷 / 製本	大陽出版株式会社 (〒441-8077 豊橋市神野新田町口ノ割 200)

本冊子は、平成 17 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.

