



北海道大学出版会 地球惑星科学入門 第2版 2015刊

在田一則・竹下 徹・見延庄士郎・渡部重十編著

第一章 地球の形と重力、地磁気、地殻熱流量

3. 地磁気

重力も**地磁気**（地球のつくる磁場）も、その原因のほとんどは地球の内部にある。重力は地球上どこでもほぼ下向きなのに地磁気はなぜ北向きなのだろうか。重力には地球の自転に伴う遠心力も含まれるが、主に「正の質量」だけをもった地球本体の万有引力である。磁気の場合は重力と異なり、正と負（NとS）の磁気を帯びたもの（磁荷）は独立して存在せず、必ず**双極子**（ダイポール）と呼ばれるペアを形成する。棒磁石はN極とS極がペアになった双極子である。磁石を半分に切っても双極子が二つできるだけN極とS極だけの磁石は作れない。地球の磁場は地球の中心に南北においた（現在は北がS極で南がN極）巨大な双極子（棒磁石）がつくる磁場で近似できる（図1）。その結果N極（南）から輪を描いてS極（北）へゆく磁場ができ、その中においた小さな磁石のN極が北を向くのである。

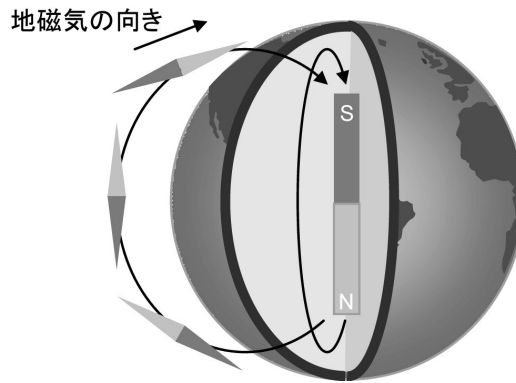


図1. 地磁気は地球中心においた双極子の作る磁場として近似される。

地球中心においた双極子がつくる磁場のポテンシャル W は、緯度を θ 、地球中心からの距離を r 、地球の半径を R として

$$W = \frac{R^3}{r^2} g_{10} \sin \theta \quad (1)$$

となる。ここで g_{10} は双極子の大きさを示す量（現在は負）である。磁場は W を空間座標で偏微分することによって得られ、上向き成分 F_r と北向き成分 F_θ はそれぞれ

$$F_r = -\frac{\partial W}{\partial r} = 2\frac{R^3}{r^3} g_{10} \sin \theta \quad F_\theta = -\frac{\partial W}{r\partial\theta} = -\frac{R^3}{r^3} g_{10} \cos \theta \quad (2)$$

となる。一般に磁石は北を向くというが、磁場の向きが水平(F_r がゼロ)なのは赤道だけである。北半球では磁場には下向き(F_r が負)、南半球では上向き(F_r が正)の成分が加わる。この水平からの角度は**伏角**という(図2)。日本で使う方位磁石にはこの下向きの力を打ち消すように、S極側の針に重りをつけている(ちなみに南半球で売っている方位磁石では、逆側に重りをつけてある)。北向き成分 F_θ はいつも同じ符号であるが、それがゼロとなる南北両極では磁場はそれぞれ下向きおよび上向きとなる。磁場は極地方で強く、赤道地方のおよそ倍になる。日本周辺での磁場の強さ(磁束密度)は45,000-50,000 nT(ナノテスラ)程度である(1Aの電流が流れる導線から1m離れたところにできる磁束密度がおよそ100 nTである)。

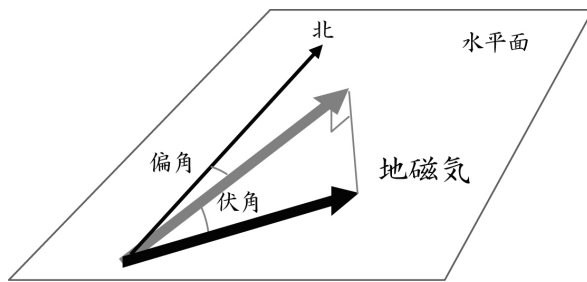


図2 地磁気の偏角と伏角。

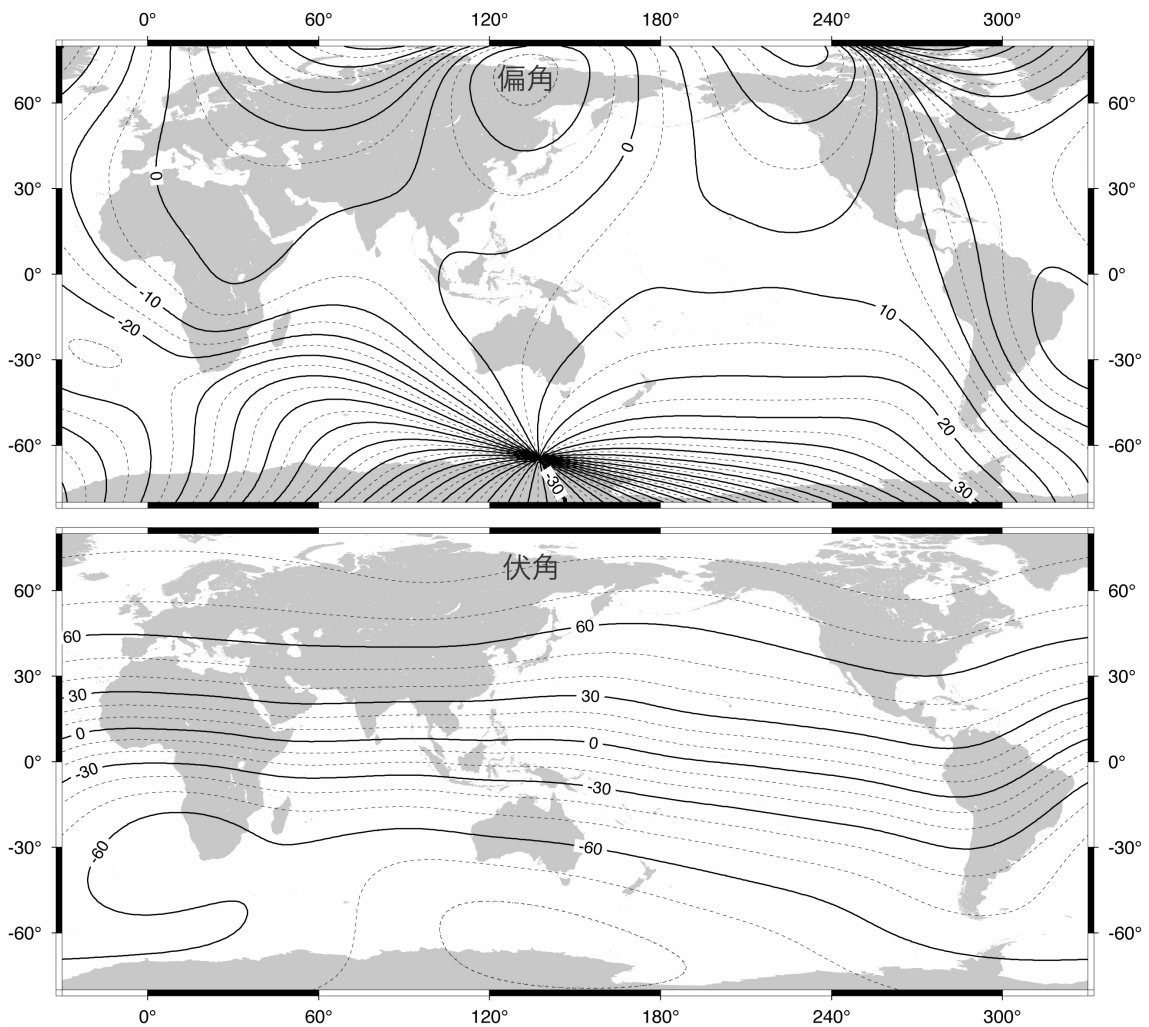


図3. 地磁気の偏角（上）と伏角（下）の分布。札幌周辺では偏角は西に約9度、伏角は下向き五十数度である。

地磁気の大部分は双極子によるものである。しかし実際には地磁気の北極（双極子の方向が地表と交わる点）は自転の北極からややずれており、双極子で表しきれない複雑な「非双極子」磁場も重なっている。そのため地球上の場所によって磁場が北向きから

西や東へ数度（場所によっては数十度も）ずれる（図3）。「本当の北」を地理的な北極の方向とすると、札幌付近で磁石の針が指す方向は真北から西におよそ9度ずれている。このずれの角度のことを地磁気の**偏角**という（図2）。

次は時間変化について考えよう。地球の重力場はほとんど時間変化しない。一方大気や海洋の状態は時間単位で変化する。地磁気の変わり方はそれらの中間である。天気ほど目まぐるしくないが、重力に比べると大きく変化する。西に6度という現在の東京での偏角は二百年前の江戸時代ではほぼゼロ、それ以前の偏角は東に振れていた。このような変化を**地磁気永年変化**と呼ぶ。また重力がひっくり返って上向きになることはないが、地磁気の大極子はN極とS極が入れ替わることがある。すると磁石の針は、南を指すことになる。このような**地磁気逆転**は地球の歴史のなかで頻繁に起こってきた。

永年変化するのは方向だけではなく、地磁気の強さも変化する。ここ二百年の間地磁気大極子の大きさ(1式の g_{10})が徐々に小さくなってきている。この割合で減っていくとあと二千年ほどで地磁気がなくなってしまう。現在の地磁気強度の減少をあらたな地磁気反転のはじまりと考える人もいるが、過去にこの程度の状態からもとの強さに立ち直った例もあるので確定的なことは言えない。

地磁気がこのように激しい変化を示すのは、地球内部で地磁気を作り出しているのがマントルのような固体部分ではなく、金属でできた地球の中心核の外側の溶けた部分（外核）だからだ。外核のなかの対流と電流、および地磁気本体が複雑に作用しあって磁気大極子が自律的に維持されることを地球の**ダイナモ作用**と呼ぶ。ダイナモ作用は地球特有のものではなく、比較的大きな金属核をもつ水星や木星にも固有の磁場があり、火星にもはるか昔ダイナモが働いていた痕跡がある。流体核を持つ天体にダイナモ作用が働くためには、天体が自転していること（対流にともなう渦が自転軸の向きに整列する）、次に中心が熱くて外が冷たいという構造になっている（流体核で熱対流が生じる）ことが必要である。固有の重力を持たない星はないが、これらの条件がそろわない天体は固有の磁場を持たない。

昔の地磁気の方向や強さは岩石の**残留磁化**から比較的簡単に知ることができる。岩石

の中の微小な磁石（磁鉄鉱などの磁性鉱物）が、冷えて固まるとき（火成岩の場合）や水の中で堆積するとき（堆積岩の場合）にまわりの地磁気の方に磁化するため、その岩石が生まれたときの磁場を記録するのである。この性質を利用すると、様々な地質年代の岩石の残留磁化を測ることによって、過去の極位置とその動き（極移動曲線）を求めることができる（第4章、図3）。異なる大陸で得られた極移動曲線が食い違うことは、1950年代に大陸移動説が復活する際に決定的な証拠を与えた。またプレート発散境界である海嶺の周囲で見られる地磁気異常縞模様は、地磁気逆転の歴史が海底を形成する火山岩の残留磁化を通じて現れたものであるが、その場所におけるプレートの平均的な拡大速度を求めるのに重要な役割を果たしている（第4章、図5）。

文責 日置幸介