

5. 地磁気

5-1 磁石としての地球

地磁気極と磁北極・磁南極 地球の磁場は磁気双極子で近似できる．対称軸を磁軸，磁軸と地球表面との交点を地磁気極という．地磁気北極は北緯 80.2 度、西経 72.5 度のグリーンランド，地磁気南極は南緯 80.2 度、東経 107.5 度にある¹．地磁気極と地理極は約 10 度ずれている．

磁北極と磁南極は伏角が ± 90 度になる地点をいい，地磁気極とは少しずれている．²

地磁気の要素 磁場は大きさ向きをもったベクトル量

- 地磁気の大きさ:全磁力
- 水平成分を水平分力
- 鉛直成分を鉛直分力
- 真北と水平成分のなす角を偏角
- 水平方向と全磁力のなす角を伏角

磁場の大きさは磁束密度を用いてあらわすのが慣例で単位は Wb/m^2 (または T [テスラ])³． 1nT (ナノテスラ) $=10^{-9}\text{T}$ ．

また Γ (ガウス)という単位もよく用いられる． $1\Gamma=10^{-4}\text{T}$ ．

地磁気の分布 札幌・東京・沖縄では(IGRF-11 モデルより)

場所	北緯(°)	東経(°)	偏角(°)	伏角(°)	水平分力(nT)	全磁力(nT)
札幌(北大)	43.072	141.347	9.292W	57.590	26837.4	50071.6
東京(皇居)	35.686	139.753	7.114W	49.366	30208.5	46387.1
沖縄(県庁)	26.213	127.681	4.725W	37.791	35115.3	44435.7

磁気圏 地磁気の勢力範囲をいい，この外側では太陽風磁場が卓越する．

¹2013 年の位置，京大地磁気世界資料センターの資料より

²磁北極 85.9N, 148.0W 磁南極 64.4S, 137.0E, 2013 年

³フレミングの左手の法則によれば磁場に直交する向きに流れる電流に電磁力が働く．単位電流が流れたとき単位長さあたりに働く力が磁束の大きさにあたる． $1\text{Wb/m}^2=\text{N}\cdot\text{m}^{-1}\text{A}^{-1}$ ．

5-2 地磁気の変化

地磁気は数時間から数万年以上の時間で変動する

日変化 日射の変化によって上空の電離層の状態が変化する．これによる地磁気の変化の大きさは $10\sim 20\text{nT}$ ．

磁気嵐 コロナ質量放出などの太陽風の変動によって、磁気圏が揺さぶられる．地磁気の変動幅は $200\sim 300\text{nT}$ に達することもある⁴．磁気嵐の時にはオーロラ活動も活発になる (ほぼ 11 年おきに北海道でも見えるチャンスがある)．

永年変化 数年～数百万年の時間を掛けたゆっくりとした変動．時には地磁気の向きが逆転することさえある (これを**地磁気の逆転**という)．永年変化は地球内部の磁場の発生の機構に変動があることによる．

永年変化を知る方法

直接計測：この数百年

古地磁気学：もっとも古くは 35 億年前まで．磁鉄鉱 (Fe_3O_4) などの磁性鉱物を利用．磁性鉱物は高温状態から冷えてキュリー点 (磁鉄鉱の場合 858K) 以下に達するとその時の磁場の向きに磁化．

過去の永年変化の解読は副産物として大陸移動説の復活と海洋底拡大説の提唱に結びついた．

5-3 地磁気の成因

永久磁石説の難点 地磁気が永久磁石によるものとするといろいろと困難が生ずる．

- 地中は高温なので永久的に磁化できない．
- 地殻は低温だがそこにある磁性鉱物だけでは磁場の強さは説明できない
- 永年変化を説明できない
- そもそもどうして永久磁石ができたのか分からない

ダイナモ理論 地磁気は外殻の対流運動に起因する発電作用 (**ダイナモ作用**) によって作られている．対流の原因は熱や不純物 (軽元素) による浮力．

磁場中を伝導性流体が運動→誘導起電力により電流発生→電流が磁場を生成
磁気双極子モーメントの大きさ $8 \times 10^{22} \text{A} \cdot \text{m}^2$ から、地球磁場を作っている電流の強さは数 10^9A と見積もられる．

⁴磁気嵐は衛星通信に障害をもたらすことが多い、いまは太陽表面を監視する宇宙天気予報という技術により予報が行われている．これは太陽表面の変動が地球軌道に伝わるまでに約 3 日かかることを利用する．

問題

問題番号に★が一つ付けてあるものは難しいが現在の知識でもきちんと考えれば解ける問題。★が二つのものは現在の知識＋アルファが必要な挑戦問題。

- 5.1 ★ 地磁気が地球の中心においた磁気双極子によるものに等しい場合、ある1地点での偏角と伏角が分かれば地磁気極の位置が分かる。それはなぜか。また岩見沢(北緯 43.08° ，東経 141.95°)における偏角(9.19°)と伏角(57.21°)から地磁気極の位置(緯度経度)を推定し実際の値と比較せよ。

後半のヒント：磁気双極子の磁場は磁極からの角距離を θ とすると鉛直分力，水平分力はそれぞれ $\frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2m \cos \theta}{r^3}$ ， $\frac{\mu_0}{4\pi} \frac{m \sin \theta}{r^3}$ と表される。ここで μ_0 は真空の透磁率($\frac{\mu_0}{4\pi} = 10^{-7} \text{ Wb m}^{-1} \text{ A}^{-1}$)， m は磁気モーメント⁵の大きさ， r は地球半径を表す。

- 5.2 地学図表 11 ページの西日本における地磁気の伏角・偏角の変化の図をもとに以下の問いに答えよ。ただし地磁気の形は地球の中心に磁気双極子を置いた場合にできるものに等しいとする。

(1) 最近 500 年間で磁北極がこの観測点を通る子午線を通過した年代はいつごろか。

(2) 磁北極が西日本にもっとも近づいたのはいつごろか。

- 5.3 地学図表 11 ページの模式図ではじめに微小な電流が流れていれば，金属円盤 1 と 2 を矢印の方向に回転させることで電流をさらに強くできることを説明せよ。

⁵磁気双極子の強さと向きを表すベクトル量