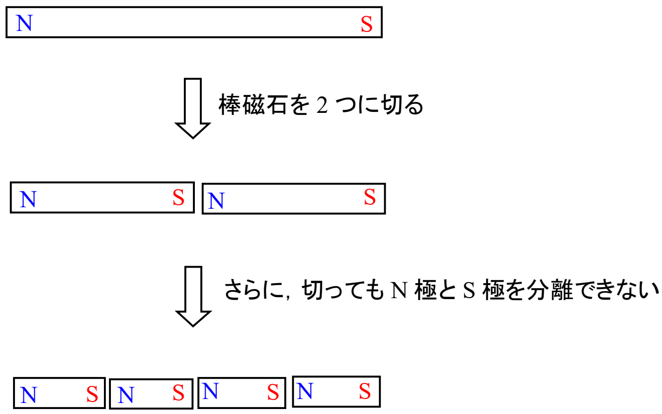
5. 静磁場

2 章では，真空中における静電気力を，3 章では，物質中における静電気力について扱った．この章では，磁気に関する磁気力と関連することがらについて学ぶ．

磁気的な力を発生させる物質として磁石がある．磁石の先端は，N 極，または S 極があり，片方に N 極がある場合，もう一方は必ず S 極となる．磁石の N 極は地球上に棒磁石を置いたとき，北極(North pole)を向く磁極を N 極と定めた．地球も一種の棒磁石であり，北極付近には S 極となる磁極が存在する．

磁気と電気の取り扱い方(定式化)は似ているが，決定的に異なるのは，電気には正となる電荷，または負となる電荷が単体で存在するが，磁気には N 極となる磁荷，または S 極となる磁荷が単独には存在しない．必ず，N 極と S 極が対となって存在する．棒磁石を 2 つに切り分けても，その切り口に N 極と S 極が対になって表れる．



5-1.　静磁気力

N 極となる磁荷 q_m を正とし，S 極となる磁荷 q_m’ を負とする．磁荷の単位は**「Wb(ウェーバー)」**である．真空中で，距離 r だけ離れた位置に 2 つの静止した磁荷 q_m と q_m’ が置かれたとき，2 つの磁荷の符号が異符号なら引力，同符号なら斥力が働く．磁荷 q_m に働く静磁気力を $\vec{F}$，磁荷 q_m’ に働く静磁気力を $\vec{F}$’としたとき，静磁気力と 2 つの磁荷，距離との関係式は静電気力(クーロン力)と同様に，磁気力は磁荷の積に比例し，距離 r の 2 乗に逆比例する．例えば，下の図のように磁荷磁荷 q_m を N 極に，磁荷 q_m’ を S 極とした場合，2 つの磁荷の間には引力が働く．また，力 $\vec{F}$ と $\vec{F}$’は作用反作用の関係の力となる．

静磁気力に関する比例定数 k_m とすると，2 つの磁荷の間に働く力の大きさ F と F’ は下の式で表すことができる．

$$F = F' = k_m \frac{|q_m\, q_m'|}{r^2} = \frac{1}{4\pi\mu_0}\frac{|q_m\, q_m'|}{r^2} \tag{5-1-1}$$

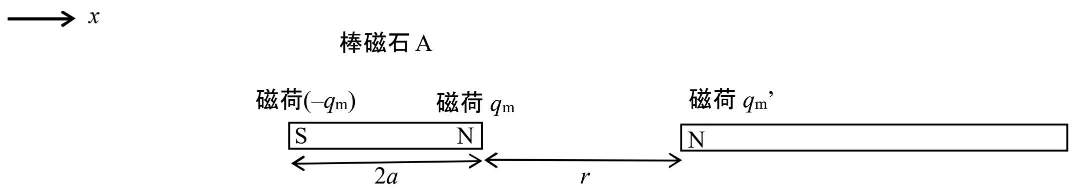
この関係式は静磁気力に関するクーロンの法則とも呼ばれる．静磁気力に関する比例定数 k_m は真空中で，$k_m = 1/(4\pi\mu_0) = 6.33\times10^4$ N m^2/Wb^2 と測定されている．定数 μ_0 は真空の透磁率で，その値は $\mu_0 = 1.257\times10^{-6}$ Wb^2/(N m^2)である．

ベクトルとしての表し方は静電気力の場合と同じである．位置 $\vec{r}$ に磁荷 q_m が，位置 $\vec{r}$’に磁荷 q_m’ があるとき，磁荷 q_m に働く静電気力 $\vec{F}$ は，(2-1-8)式と同様に下の式で表すことができる．ここで，単位ベクトル $\vec{e} = (\vec{r}-\vec{r}')/|\vec{r}-\vec{r}'|$ は磁荷 q_m’から磁荷 q_m に向く単位ベクトルである．

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\mu_0}\frac{q_m\, q_m'}{|\vec{r}-\vec{r}'|^2}\,\vec{e} = \frac{1}{4\pi\mu_0}\frac{q_m\, q_m'}{|\vec{r}-\vec{r}'|^3}\,(\vec{r}-\vec{r}') \tag{5-1-2}$$

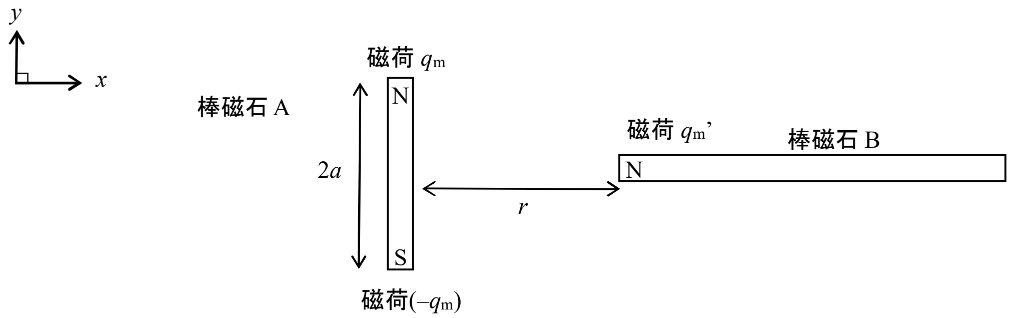
また，磁荷 q_m' に働く静電気力$\vec{F}$'は，力$\vec{F}$と作用反作用の関係にある力なので，「$\vec{F}' = -\vec{F}$」の関係で結ばれている．

問題 5-1　図のように長さ $2a$ の棒磁石 A の先端に磁荷 q_m(N 極)と($-q_\mathrm{m}$)(S 極)が x 方向と平行にある．一方，棒磁石 A にある N 極から距離 r 離れた地点に棒磁石 B の N 極が置かれている．棒磁石 B の N 極の磁荷を q_m' とする．棒磁石 B の N 極の磁荷に働く力$\vec{F}$を x 方向の単位ベクトル$\vec{e}_x$を用いて表せ．



答 $\vec{F} = k_\mathrm{m}\, q_\mathrm{m}\, q_\mathrm{m}'\left(\frac{1}{r^2} - \frac{1}{(r+2a)^2}\right)\vec{e}_x$

問題 5-2　図のように長さ $2a$ の棒磁石 A の先端に磁荷 q_m(N 極)と($-q_\mathrm{m}$)(S 極)がある．棒磁石 A の中央から距離 r 離れた地点に棒磁石 B の N 極が置かれている．棒磁石 B の N 極の磁荷を q_m' とする．棒磁石 B の N 極の磁荷に働く力$\vec{F}$を x 方向と y 方向の単位ベクトル$\vec{e}_x$と $\vec{e}_y$を用いて表せ．



答 $\vec{F} = -k_\mathrm{m}\frac{q_\mathrm{m}\, q_\mathrm{m}'}{(r^2+a^2)^{3/2}}\vec{e}_y$

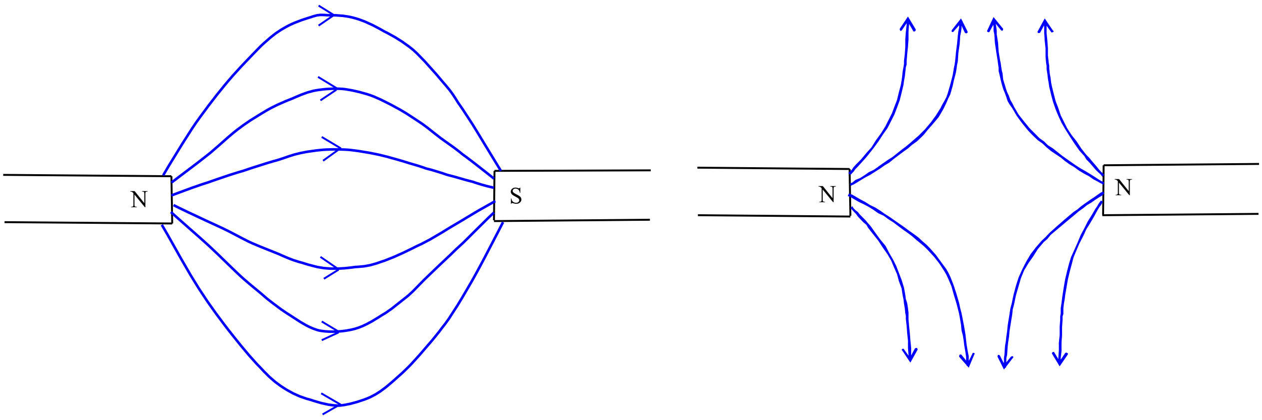
5-2.　磁力線と磁場(磁界)

2-2. において電荷から「電気力線」が発生，または消滅し，電気力線によって力のやりとりをすることを説明した．この現象を磁気に適用する．N 極から**「磁力線」**が発生し，S 極では**「磁力線」**が消滅するとし，磁力線によって力のやりとりを行っていると考える．さらに，磁力線がある空間には，**磁場(磁界)**が存在すると考える．磁力線の性質は電気力線と同等である．

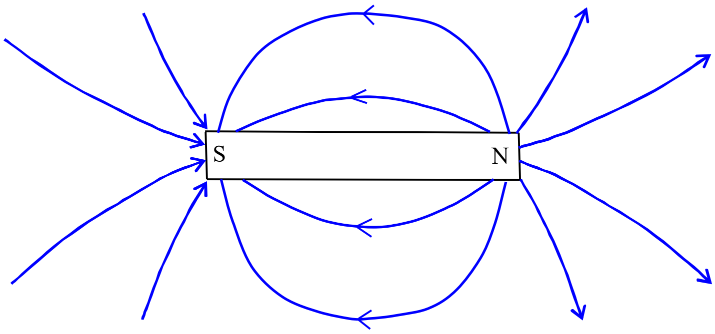
・磁力線の性質

1)　N 極(磁荷は+)の磁極から磁力線が発生し，S 極(磁荷は–)の磁極では磁力線が消滅する．
2)　磁力線は，交差したり，分岐したりしない．
3)　磁荷の大きさと，発生する(あるいは，消滅する)磁力線の数は比例する．
4)　磁力線でつながった磁荷の間には，引力が働く(結ばれた磁力線の数が多いほど，大きな力が働く)．
5)　同じ符号の磁荷の間には，磁力線が密集しないような力(斥力)が働く．

例えば，N 極と S 極の間，または，N 極どうしの磁力線は下の図のように描くことができる．



さらに，1 本の棒磁石のまわりにできる磁力線は下の図のようになる.



・磁場(磁界)とは [1]

「電気力線と電場(電界)」の関係と同様に，磁力線が空間に存在している状態は，磁気力が影響を及ぼす空間になっていることを示す．このような空間を**「磁場(磁界)」**が存在していると呼ぶ．磁力線と磁場の関係を下に示す.

1) 磁場(磁界)の向きは磁力線の向きと同じ(磁場の向きは磁力線の接線方向)
2) 磁場(磁界)の大きさは磁力線の密集度(ある閉じた面を貫く磁力線の数，換言すると，磁力線の面密度)に比例する

・磁場(磁界)の定義

磁場(磁界)が存在している空間に磁荷 q_{m} がある時，磁荷 q_{m} が磁場(磁界) $\vec{H}$ によって，静磁気力 $\vec{F}$ を受ける．磁場(磁界) $\vec{H}$ と静磁気力 $\vec{F}$ の間の関係は下の式で表される．この式は磁場(磁界)に対する定義式でもある.

$$\vec{F} := q_{\mathrm{m}} \vec{H} \tag{5-2-1}$$

・磁場の単位

磁場の定義式(4-2-1)式より，磁場の単位は「N/Wb」となる．また，後で示すが，電流の単位「A(アンペア)」と長さの単位を用

[1] 物理学の分野では「磁場」，電気工学の分野では「磁界」と呼ぶ．どちらも同じ意味である．英語では’Magnetic field’と呼ぶ.

いて表すこともできる.

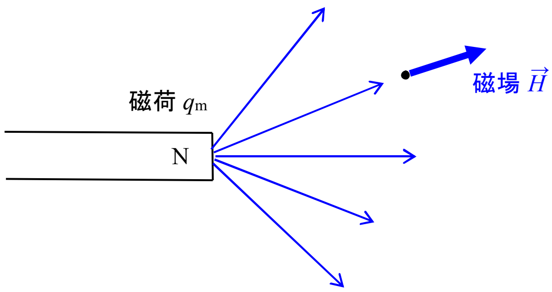
$$\text{磁場の単位} = \mathrm{N/Wb} = \mathrm{A/m} \tag{5-2-2}$$

・磁荷が作る磁場

磁荷 q_m が原点にあり，位置 $\vec{r}$ で磁荷 q_m が作る磁場 $\vec{H}$ を求めよう．静電気力に対する電場 $\vec{E}$ と同様に，磁荷 q_m が位置 $\vec{r}$ に作る磁場 $\vec{H}$ は，位置 $\vec{r}$ と同じ向きを持つ単位ベクトル $\vec{e}_r = \vec{r}/|\vec{r}|$ を用いて，次の式で表すことができる．

$$\vec{H} = k_\mathrm{m} \frac{q_\mathrm{m}}{r^2} \vec{e}_r \tag{5-2-3}$$

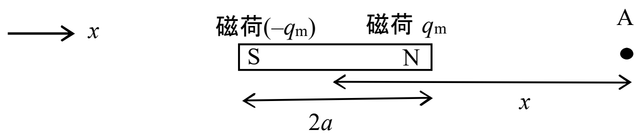
とても長い棒磁石の一端に N 極がある場合は，磁力性は等方的に出て，N 極が作る磁場は(5-2-3)式で表すことができる．



また，磁荷が N 個ある場合は，位置 $\vec{r}$ において，各々の磁荷によってできた磁場を $\vec{H}_1(\vec{r})$, $\vec{H}_2(\vec{r})$, ･･･ $\vec{H}_N(\vec{r})$ とすると，位置 $\vec{r}$ での合成磁場 $\vec{H}(\vec{r})$ は下の式のように「重ねあわせの法則」を用いて表すことができる．

$$\vec{H}(\vec{r}) = \sum_{i=1}^{N} \vec{H}_i(\vec{r}) \tag{5-2-4}$$

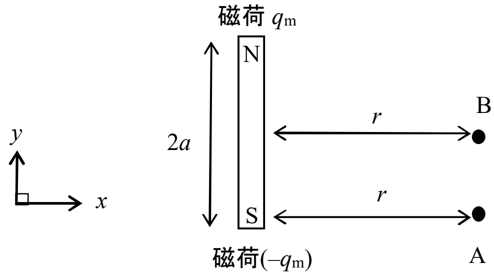
問題 5-3　図のように長さ $2a$ の棒磁石の先端に磁荷 q_m(N 極)と$(-q_\mathrm{m})$(S 極)が x 方向と平行に置かれている．この棒磁石の中央から距離 x だけ離れた点 A での磁場 $\vec{H}$ を x 方向の単位ベクトル $\vec{e}_x$ を用いて表せ．



答 $\vec{H} = k_\mathrm{m}\, q_\mathrm{m} \left(\dfrac{1}{(x-a)^2} - \dfrac{1}{(x+a)^2}\right) \vec{e}_x$

$= k_\mathrm{m}\, q_\mathrm{m} \dfrac{4xa}{(x^2-a^2)^2}$

問題 5-4　図のように長さ $2a$ の棒磁石の先端に N 極となる磁荷 q_m と S 極となる磁荷 $-q_\mathrm{m}$ がある．この棒磁石の S 極から垂直に距離 r 離れた点 A と点 B での磁場 $\vec{H}$ を x 方向と y 方向の単位ベクトル $\vec{e}_x$ と $\vec{e}_y$ を用いて表せ．ただし，点 A は S 極から棒磁石と垂直に距離 r，点 B は棒磁石の中央から垂直に



距離 r の位置にあるとする.

答　　点 A で，$\vec{H} = k_m q_m \{ (-\frac{1}{r^2} + \frac{r}{(r+2a)^{5/2}})\ \vec{e}_x - \frac{2a}{(r+2a)^{5/2}}\ \vec{e}_y \}$

点 B で，$\vec{H} = -k_m q_m \frac{2a}{(r+a)^{5/2}}\ \vec{e}_y$

問題 5-5　磁場の大きさ H = 20 N/Wb の中に磁荷 $q_m = -4.0\times10^{-2}$ Wb となる S 極を置いた. この磁荷(S 極)が受ける磁気力の大きさ F とその向きを答えよ.

答　F = 0.8 N，向きは磁場の向きと逆向き

5-3.　磁化と物質中の磁場

3 章では，物質における電気的な性質として「導体」,「不導体(絶縁体)，または，誘電体」,「半導体」などがあると述べた. 特に，「導体」と「不導体(誘電体)」では，外部から電場を物質に印加すると，応答が異なり，物質内の電場にその違い表れる.

同様に，物資に外部から磁場を印加すると，物質の性質によってその応答が異なる. 外部磁場を印加して，物質が磁気的に応答する性質を**「磁性」**と呼び，磁性を有した物質を「磁性体」と呼ぶ. また，物資が磁性を有する現象を**「磁化」**と呼ぶ. 外部磁場に対する応答性から，大きく分けて，①常磁性体，②反磁性体，③強磁性体などに分類できる [2]. それらの性質を下にまとめる. なお，これらの磁性を示す理由はここでは言及しない.

① 常磁性体(Paramagnetics)；外部磁場がないときは磁性を持たないが，外部磁場を印加すると，外部磁場を強めるようにわずかに磁化する物質のこと. Li, Na, Mg, Al など多くの物質が常磁性体である.

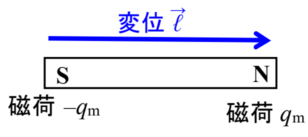
② 反磁性体(Diamagnetics)；外部磁場がないときは磁性を持たないが，外部磁場を印加すると，外部磁場を弱めるように，外部磁場と逆向きに磁化する物質のこと. Bi などが反磁性体となる [3]. また，水も弱い反磁性体となる.

③ 強磁性体(Ferromagnetics)；外部磁場がなくとも磁性を示す. すなわち，「自発磁化」を持つ. 原子・分子は N 極と S 極からなる小さな棒磁石と見なすことができるが，それが，そろって整列することで物質全体が磁性を帯びる.

・磁気モーメント

原子・分子は，外部から磁場を印加されなくとも，N 極と S 極からなる微少な棒磁石を形成している [4]. このように N 極(+の磁荷 q_m)と S 極(−の磁荷 $-q_m$)からなる 2 つの磁荷が組となった状態を磁気双極子(Magnetic dipole)と呼ぶ. S 極から N 極へ向いた変位 $\vec{\ell}$ とすると，1 つの原子・分子における磁気双極子モーメント(磁気モーメント) $\vec{m}$ を下の式で定義する.

磁気双極子



$$\vec{m} = q_m \vec{\ell} \tag{5-3-1}$$

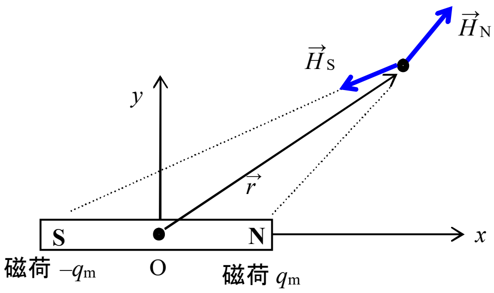
---

[2] その他としては，「反強磁性体」があるが，ここでは扱わない.

[3] 超伝導体(Superconductor)の内部は，外部磁場が侵入できない. 超伝導体では外部磁場を完全に打ち消すような逆向きの磁化が発生し，超伝導体内部では合成磁場が「0」となる. このような磁性を「完全反磁性」と呼ぶ. また，超伝導体のこのような性質を「マイスナー効果」と呼ぶ.

[4] 原子・分子が微少な棒磁石を形成している理由はここでは言及しない.

例題 5-1　図のように，磁気モーメント $\vec{m}$ $(=q_{\mathrm{m}}\vec{\ell})$を持つ磁気双極子が置かれている．磁気双極子の中央を原点 O として，位置$\vec{r}$にできる磁場$\vec{H}(\vec{r})$を求めよ．ただし，距離 r と変位の長さ ℓ との関係として「$r >> \ell$」する．



答;　磁気モーメント $\vec{m}=q_{\mathrm{m}}\vec{\ell}$をもつ磁気双極子の変位$\vec{\ell}=(\ell, 0, 0)$とする．N 極が位置$\vec{r}=(x, y, z)$に作る磁場を$\vec{H}_{\mathrm{N}}$，S 極が位置$\vec{r}$に作る磁場を$\vec{H}_{\mathrm{S}}$ とすると，各々，下の式のように表すことができる．

$$\vec{H}_{\mathrm{N}}=k_{\mathrm{m}}\frac{q_{\mathrm{m}}}{|\vec{r}-\vec{\ell}/2|^2}\frac{\vec{r}-\vec{\ell}/2}{|\vec{r}-\vec{\ell}/2|}=k_{\mathrm{m}}\,q_{\mathrm{m}}\frac{\vec{r}-\vec{\ell}/2}{|\vec{r}-\vec{\ell}/2|^{3/2}},\quad \vec{H}_{\mathrm{S}}=k_{\mathrm{m}}\frac{-q_{\mathrm{m}}}{|\vec{r}+\vec{\ell}/2|^2}\frac{\vec{r}+\vec{\ell}/2}{|\vec{r}+\vec{\ell}/2|}=-k_{\mathrm{m}}\,q_{\mathrm{m}}\frac{\vec{r}+\vec{\ell}/2}{|\vec{r}+\vec{\ell}/2|^{3/2}}$$

上の式の分母は次の式のように近似する．

$$|\vec{r}\pm\vec{\ell}/2|^{-3/2}=((x\pm\ell/2)^2+y^2+z^2)^{-3/2}\sim(x^2+y^2+z^2)^{-3/2}\left(1\mp\frac{3}{2}\frac{x\,\ell}{x^2+y^2+z^2}\right)=r^3\left(1\mp\frac{3}{2}\frac{x\,\ell}{r^2}\right)$$

$$\vec{H}_{\mathrm{N}}\sim k_{\mathrm{m}}\,q_{\mathrm{m}}\,r^{-3}\left(1+\frac{3}{2}\frac{x\,\ell}{r^2}\right)(x-\ell/2, y, z),\quad \vec{H}_{\mathrm{S}}\sim -k_{\mathrm{m}}\,q_{\mathrm{m}}\,r^{-3}\left(1-\frac{3}{2}\frac{x\,\ell}{r^2}\right)(x+\ell/2, y, z),$$

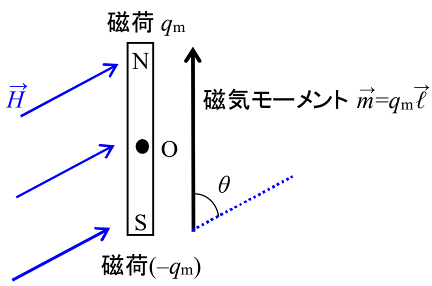
したがって，合成磁場$\vec{H}(\vec{r})$は下の近似式のように求めることができる．

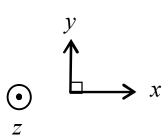
$$\vec{H}=\vec{H}_{\mathrm{N}}+\vec{H}_{\mathrm{S}}\sim k_{\mathrm{m}}\,q_{\mathrm{m}}\,r^{-3}\left(-\ell+3\frac{x^2\,\ell}{r^2}, 3\frac{x\,y\,\ell}{r^2}, 3\frac{x\,z\,\ell}{r^2}\right)=k_{\mathrm{m}}\left\{r^{-3}(-q_{\mathrm{m}}\,\ell, 0, 0)+3\,r^{-5}\,q_{\mathrm{m}}\,\ell\,x(x, y, z)\right\}$$

(2 項目は，　$\vec{m}\cdot\vec{r}=q_{\mathrm{m}}\,\ell\,x$ を用いた．　)

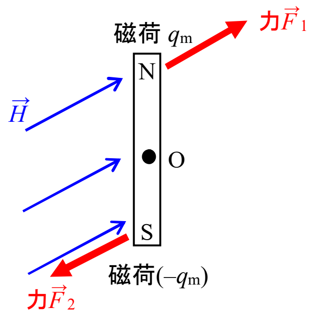
$$=k_{\mathrm{m}}\left(-\frac{\vec{m}}{r^3}+3\frac{(\vec{m}\cdot\vec{r})\,\vec{r}}{r^5}\right)$$

例題 5-2　図のように xy 平面上に，磁場$\vec{H}$と磁気モーメント $\vec{m}=q_{\mathrm{m}}\vec{\ell}$の磁気双極子が角度 θ で置かれている．磁気双極子の中点を原点 O として，磁気双極子にかかる力のモーメント(トルク) $\vec{N}$を求め，それを，磁気モーメント$\vec{m}$を用いて表せ．





答 ; 位置$\vec{r}$に力$\vec{F}$が作用しているときの力のモーメント(トルク) $\vec{N}$は「$\vec{N} = \vec{r}\times\vec{F}$ 」と計算する．x 方向と y 方向を図のようにとり，$+z$ 方向を紙面に対して奥から表面に向く方向にとる．原点 O から磁極までの距離が$(\ell/2)$となるので，力$\vec{F}_1$ による力のモーメント$\vec{N}_1 = (\vec{\ell}/2)\times(q_m \vec{H}) = -((\ell/2)\, q_m H \sin\theta)\ \vec{e}_z$ で，力$\vec{F}_2$による力のモーメント$\vec{N}_2 = (-\vec{\ell}/2)\times(-q_m \vec{H}) = -((\ell/2)\, q_m H \sin\theta)\ \vec{e}_z$ となる．したがって，力のモーメントの総和$\vec{N}$は下の式のように磁気モーメント$\vec{m}$を用いて表すことができる．下の力のモーメントの式から，原点 O を中心として xy 平面上で反時計回りに回転しようとする働きとなる．

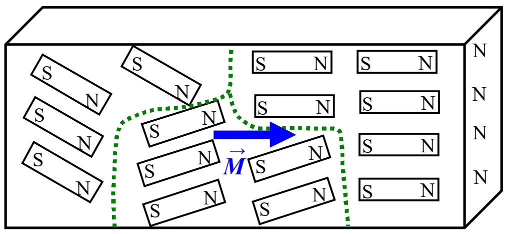


$$\vec{N} = \vec{\ell}\times(q_m \vec{H}) = -(\ell\, q_m H \sin\theta)\ \vec{e}_z = (q_m \vec{\ell})\times\vec{H} = \vec{m}\times\vec{H}$$

・磁化

物質内には複数の原子・分子があり，一般には，個々の磁気モーメントは異なる値をとったり，向きが異なったりしている．物質全体に分布している磁気モーメントは磁性体の磁気的性質に影響を与える．物質内の i 番目の原子・分子の磁気モーメント $\vec{m}_i$とし，物質全体の磁性を表す物理量として，単位体積当たりの磁気モーメント，すなわち，**磁化 $\vec{M}$** を下の式で導入しよう(ここで，物質の体積を V とする)．磁化$\vec{M}$は電気では分極$\vec{P}$に相当する．

$$\vec{M} := \frac{\sum_i \vec{m}_i}{V} \qquad (5\text{-}3\text{-}2)$$

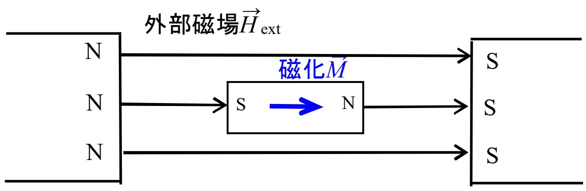


強磁性体の場合は，磁気モーメントがそろっているいくつかの領域で構成されている．上の図では，点線で磁気モーメントがそろっている領域(磁区)を分けた．上の図では磁区は 3 つできている．

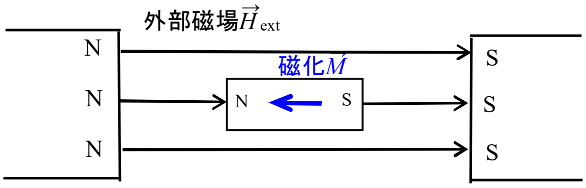
磁気モーメントの単位は「Wb m」で，磁化の単位は「Wb/m^2」である．

3 つの磁性体での，外部磁場と磁化の関係を下に図で示す．

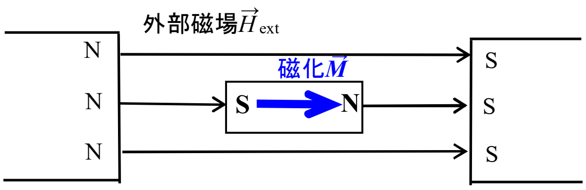
① 常磁性体; 外部磁場$\vec{H}_{ext}$が印加された空間に常磁性体を置くと，外部磁場と同じ向きに磁化$\vec{M}$が生じる．磁化の大きさは強磁性体より小さい．



② 反磁性体; 外部磁場$\vec{H}_{ext}$が印加された空間に反磁性を置くと，外部磁場と逆向きに磁化$\vec{M}$が生じる．



③ 強磁性体; 外部磁場$\vec{H}_{\mathrm{ext}}$ が印加された空間に常磁性体を置くと，外部磁場と同じ向きに磁化$\vec{M}$が生じる．磁化の大きさは常磁性体より大きい．外部磁場を「0」にしても磁化は残る．一度，磁化したら，さらに強い外部磁場を印加しないと，その方向に磁化しない．



・磁束密度

電気では，電場$\vec{E}$，分極$\vec{P}$，電束密度$\vec{D}$の間に「$\vec{D} := \varepsilon_0 \vec{E} + \vec{P} := \varepsilon \vec{E}$」の関係が成り立っていた．磁気でも同様に，磁場$\vec{H}$，磁化$\vec{M}$，磁束密度(Magnetic flux density)$\vec{B}$の間に下の式のような同様な関係が成立する．真空中の透磁率をμ_0，物質中の透磁率をμとする．

$$\vec{B} := \mu_0 \vec{H} + \vec{M} := \mu \vec{H} \tag{5-3-3}$$

また，磁場$\vec{H}$が小さい場合は，磁化$\vec{M}$と磁場$\vec{H}$の間に下の比例関係が成り立つ[5]．ここで，χ_{m} は磁化率(または，磁気感受率や帯磁率)と呼ばれる比例定数で，単位はない．おおよそ，「$0 < \chi_{\mathrm{m}} << 1$ なら常磁性体」，「$\chi_{\mathrm{m}} < 0$ なら反磁性体」，「$1 < \chi_{\mathrm{m}}$ なら強磁性体」と分類できる．

$$\vec{M} = \mu_0 \chi_{\mathrm{m}} \vec{H} \tag{5-3-4}$$

磁化率を用いると，物質中の透磁率 μ を下の式で定義する．また，「$\mu/\mu_0 = 1+ \chi_{\mathrm{m}}$」を比透磁率と呼ぶ．

$$\mu := \mu_0 \, (1 + \chi_{\mathrm{m}}) \tag{5-3-5}$$

(4-3-4)式を用いると，下の式のように磁束密度$\vec{B}$は磁場$\vec{H}$に物質中の透磁率 μ をかけたものと等しい．

$$\vec{B} = \mu_0 \, (1 + \chi_{\mathrm{m}}) \vec{H} = \mu \vec{H} \tag{5-3-6}$$

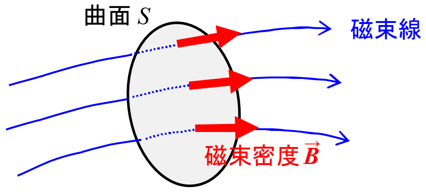
[5] 自発磁化が発現している強磁性体では，この関係式は成立しない．

・磁束密度の単位

磁束密度の大きさ B の単位は，(5-3-3)式より磁化の単位と同じなので「$\mathrm{Wb/m^2}$」である．これを「T(テスラ [6])」と呼ぶ．

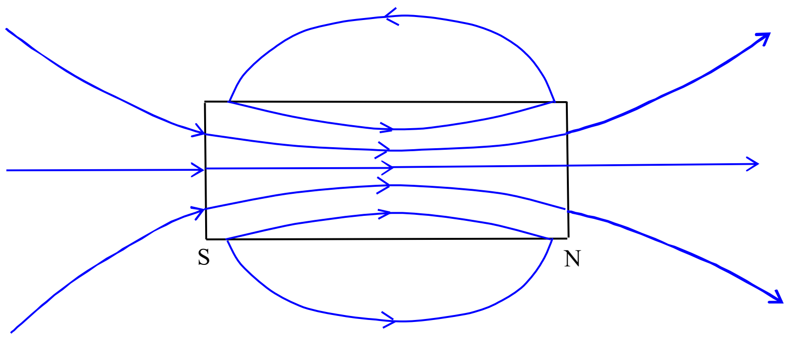
・磁束密度と磁束

面積 S の曲面を考え，この曲面を貫く磁束密度$\vec{B}$について，面積積分した量を磁束(Magnetic flux) Φ とし，下の式で定義する．磁束密度は磁束の面密度であり，磁束密度の向きと同じ向きに磁束線がある.磁束の単位は「Wb」である.



$$\Phi := \int_{曲面\ S} \vec{B} \cdot d\vec{S} \qquad (5\text{-}3\text{-}7)$$

また，棒磁石の作る磁束線を描くと下の図のようになる．磁荷は単独で存在せず，N 極と S 極が対になって存在するので，磁束線は棒磁石のまわりにとその内部で 1 周する．棒磁石の左右の磁束線は大きく迂回して，1 周してつながっている．



5-4.　磁束密度に関するガウスの法則

電束密度に関するガウスの法則は(3-4-9)式で表した．磁気に関するガウスの法則として，磁束密度$\vec{B}$を用いて表そう．磁気では，N 極，または S 極として単独での存在が見つからないので，磁束線は空間を 1 周し連続につながっていて，空間のある場所から発生したり，ある場所で消滅したりすることはない．それを，ガウスの法則として式で表すと，下の式で表すことができる．この式が「**磁束密度に関するガウスの法則**」を表す式である．

$$\int_{閉曲面\ S} \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0 \qquad \text{(磁束密度に関するガウスの法則)} \qquad (5\text{-}4\text{-}1)$$

*微分を用いた磁束密度に関するガウスの法則

[6] 磁束密度の単位の「T(テスラ)」は，19 世紀の(現在の)セルビア出身でその後，アメリカに移住した電気工学者のニコラ・テスラ(N. Tesla)に由来する．

(**「2-5.微分を用いた電位とガウスの法則」と同様に，微分が苦手な学生は省略してよい**)

(2-5-34)式と同様に，ガウスの法則について，微分演算子$\vec{\nabla}$を用いて表すと，下の式で表すことができる．

$$\vec{\nabla} \bullet \vec{B} = \mathrm{div}\ \vec{B} = \sum_{i=1}^{3} \frac{\partial}{\partial x_i} B_i = 0 \qquad (5\text{-}4\text{-}2)$$

この式も 4 つある電磁気学における最重要な式の 1 つである(**「真の磁荷が存在しない」**ことを述べている).

*ベクトルポテンシャル [7](**省略してもよい**)

(5-4-2)式を自動的に満たすベクトル$\vec{A}$を導入しよう．ベクトル$\vec{A}$はベクトルポテンシャルと呼ばれ，下の式で定義される．

$$\vec{B} = \vec{\nabla} \times \vec{A} = \mathrm{rot}\ \vec{A} \qquad (5\text{-}4\text{-}3)$$

[7] ベクトルポテンシャルについては，8 章で再度，議論する．