磁性物理学 レポート No.3

82311971 佐々木良輔

(1)

図のように副格子 A の向く方向を正として, 外部磁場は正の方向にかけるものとする. 外部磁場 H_{ext} が無い状態での副格子 A, B 磁化を M_0 とする. 磁場を印加した際の副格子 A, B それぞれについて, 磁化の変化量を δM_A, δM_B とすると, 磁場中での副格子 A, B の磁化は

$$\begin{aligned} M_A &= M_0 + \delta M_A \\ M_B &= -M_0 + \delta M_B \end{aligned} \tag{1}$$

である. このとき副格子 A が B から受ける分子場は

$$H_w^A = -\gamma M_B = -\gamma(-M_0 + \delta M_B) \tag{2}$$

また B が A から受ける分子場は

$$H_w^B = -\gamma M_A = -\gamma(M_0 + \delta M_A) \tag{3}$$

である. ここで図 2 のように外部磁場が無い状態での平衡位置を α_0, $-\alpha_0$ とする. ただし外部磁場 0 のときの磁化が M_0 なので $\alpha_0 = \beta m \gamma M_0$ である. 外部磁場を印加したときの平衡状態からのズレを $\delta\alpha_A$, $\delta\alpha_B$ とすると

$$\begin{aligned} \delta\alpha_A &= \beta m(H_{\mathrm{ext}} + H_w^A) - \alpha_0 \\ &= \beta m(H_{\mathrm{ext}} - \gamma\delta M_B) + \beta m\gamma M_0 - \alpha_0 \\ &= \beta m(H_{\mathrm{ext}} - \gamma\delta M_B) \end{aligned} \tag{4}$$

同様にして

$$\begin{aligned} \delta\alpha_B &= \beta m(H_{\mathrm{ext}} + H_w^B) - (-\alpha_0) \\ &= \beta m(H_{\mathrm{ext}} - \gamma\delta M_A) \end{aligned} \tag{5}$$

である. ここで $\delta\alpha \ll 1$ のとき, M を α_0 周りで 1 次までテイラー展開することで

$$M(\alpha_0 + \delta\alpha) = NmL(\alpha_0) + NmL'(\alpha_0)\delta\alpha \tag{6}$$

これを用いて δM_A, δM_B は

$$\begin{aligned}\delta M_A &= M(\alpha_0+\delta\alpha_A) - M(\alpha_0)\\ &= NmL'(\alpha_0)\beta m(H_{\text{ext}} - \gamma\delta M_B)\\ &= \frac{Nm^2}{k_BT}L'(\alpha_0)(H_{\text{ext}} - \gamma\delta M_B)\end{aligned} \tag{7}$$

$$\delta M_B = \frac{Nm^2}{k_BT}L'(\alpha_0)(H_{\text{ext}} - \gamma\delta M_A) \tag{8}$$

正味の磁化は $M = \delta M_A + \delta M_B$ なので (7), (8) の両辺を足すと

$$\begin{aligned} & M = \frac{Nm^2}{k_BT}L'(\alpha_0)(2H_{\text{ext}} - \gamma M)\\ \Longleftrightarrow \quad & M\left(1+\frac{\gamma Nm^2L'(\alpha_0)}{k_BT}\right) = \frac{2Nm^2}{k_BT}L'(\alpha_0)H_{\text{ext}}\end{aligned} \tag{9}$$

したがって磁気感受率は

$$\begin{aligned}\chi = \frac{M}{H_{\text{ext}}} &= \frac{\frac{2Nm^2}{k_BT}L'(\alpha_0)}{1+\frac{\gamma Nm^2L'(\alpha_0)}{k_BT}}\\ &= \frac{2Nm^2L'(\alpha_0)}{k_BT+\gamma Nm^2L'(\alpha_0)}\end{aligned} \tag{10}$$

となる. ここで $\alpha_0 = 0$ では $L'(0) = 1/3$ なので

$$\chi = \frac{\frac{2Nm^2}{3k_B}}{T+\frac{\gamma Nm^2}{3k_B}} =: \frac{C}{T+T_N} \tag{11}$$

ここで $C = 2Nm^2/3k_B$, $T_N = \gamma Nm^2/3k_B$ とした. $T = T_N$ のときは

$$\chi = \frac{1}{\gamma} \tag{12}$$

となる.

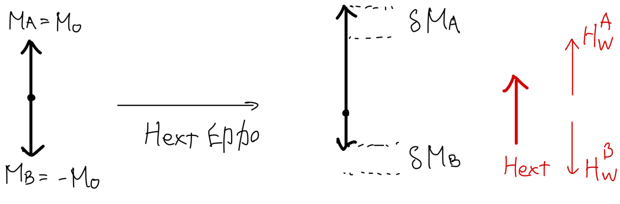

図 1　反強磁性体に磁場を印加した際の磁化の挙動

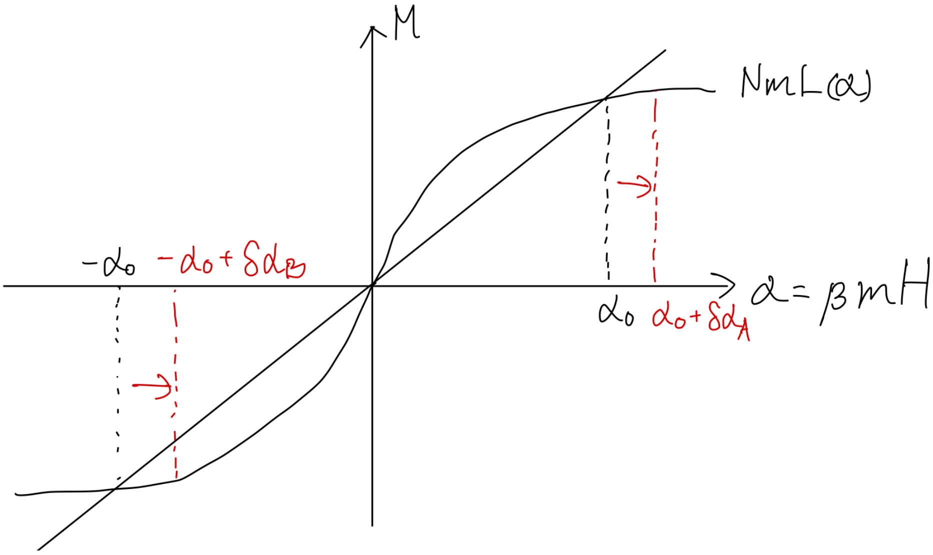

図 2　外部磁場による自己無撞着解の変化