

強磁性体における臨界緩和

— その多分散過程出現に対する一つのモデル —

東工大・理 橋 本 巍 洲

我々は強磁性体のキュリー点 (T_c) 近傍におけるスピン緩和の研究を行ってきたが、その分散過程は、単分散より多分散まで非常に変化に富んでいる。¹⁾

我々は、これらの多分散過程出現に対して、一つの模型を考えた。久保・鈴木²⁾によると Ising spin 系の T_c 近傍における高周波帯磁率 $\chi(\omega)$ は次式で与えられる。

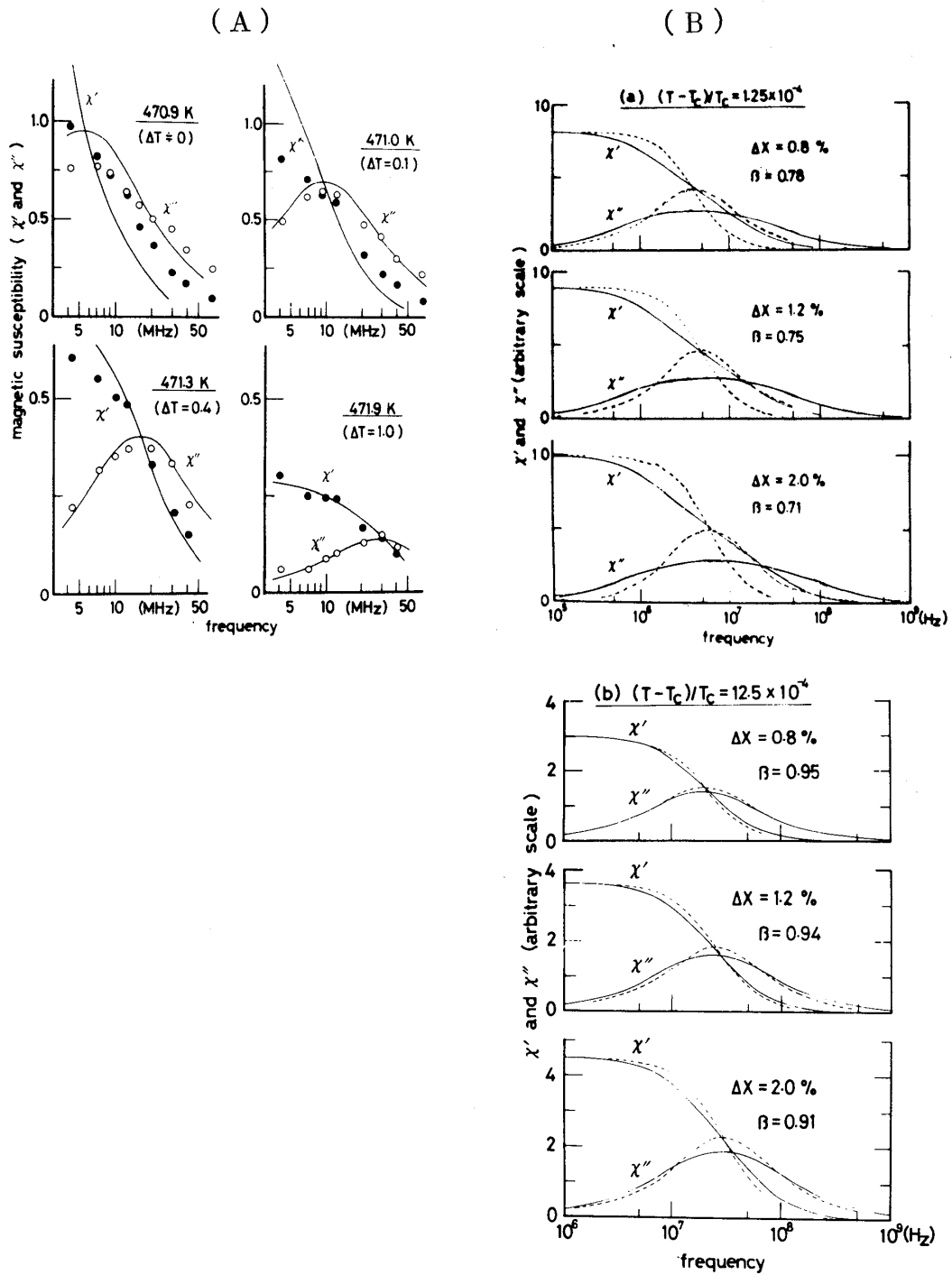
$$\chi(\omega) = \left(\frac{C}{T}\right) \cdot \frac{1}{\left(1 - \frac{T_c}{T}\right) + i\omega\tau} \quad (1)$$

ただし、 $T_c = (2JZ/3k)\sigma_i^2$ である。これより、 τ は exchange parameter J の関数と考えられ、 J が試料中の場所の関数 $J(r)$ で表わされるような試料、すなわち不均質な試料の場合に多分散が出現するであろうと予想される。

我々は、上の予測を具象化するため、不均質な Mn-Zn フェライト試料を用いたスピン緩和の研究を行った。Mn-Zn フェライトはスピネル型結晶構造を持ち、金属イオンの占め得る位置は、A, B 二つの位置があるが、Mn イオンは B 位置を Zn イオンは A 位置を占める。この構造中の磁氣的相互作用は、 $Zn Fe_2 O_4$ が 4.2K まで磁氣的転移を持たないことより、³⁾ 磁氣的相互作用として A-B 位置間の相互作用のみを考えればよい。相互作用 $\mathcal{H}$ amiltonian は

$$\mathcal{H} = -2 \sum_i J^{(1)} S_i^{(1)} S_j^{(1)'} - 2 \sum_{k,l} J^{(2)} S_k^{(2)} S_l^{(1)'} \quad (2)$$

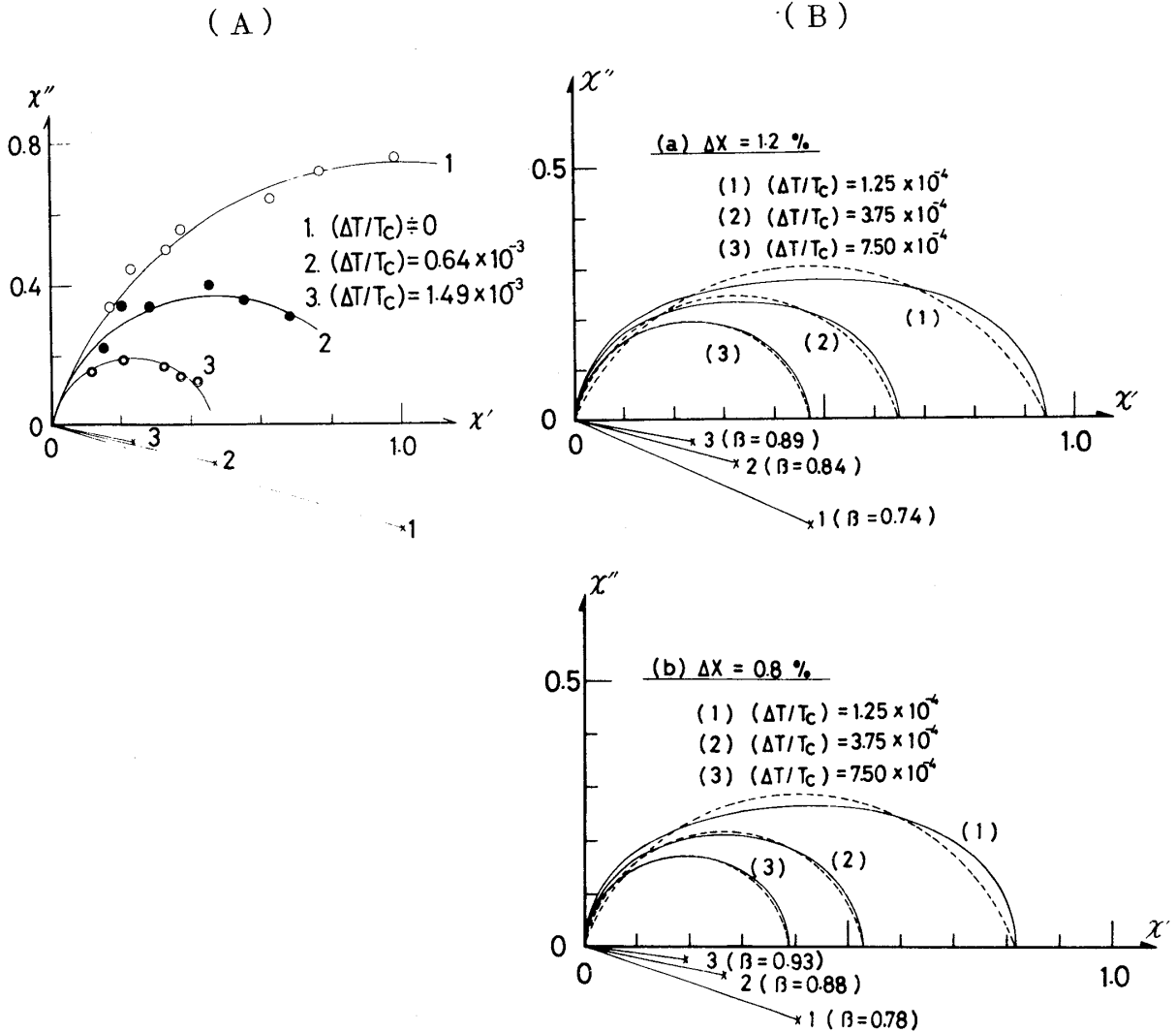
で与えられる。ここで $S^{(1)}$ および $S^{(1)'}$ は B および A 位置の Fe^{3+} スピンを表わし、 $S^{(2)}$ は B 位置の Mn スピンを示す。(2) 式より明らかなように、Mn/Zn の濃度比が有効磁場の強さを決定すると考えられる。したがって、本研究では、円筒軸方向に沿って少しずつ Mn/Zn の濃度比が変化しているような円筒型平均質試料を用い、この試料の T_c



第1図 (A) 常磁性領域 T_c 近傍の χ' および χ'' の周波数依存性。実線はDebye型を仮定した時の計算値。

(B) 計算された χ' および χ'' の周波数依存性。実線は我々のモデルによるもの。点線はDebye型を仮定して得られたものである。

近傍での高周波帯磁率, $\chi(\omega) = \chi' - i\chi''$, の周波数依存性を測定して, 我々のモデルより計算された $\chi(\omega)$ の周波数依存性とを比較検討することにより緩和過程に関する考察がなされた。比較検討に用いられたのは常磁性領域の T_c 近似での $\chi(\omega)$ である。



第2図 (A) 常磁性領域 T_c 近傍での $\chi(\omega)$ の Cole-Cole プロット。実線は (3) 式を用いて描かれた。
 (B) 計算された $\chi(\omega)$ の Cole-Cole プロット。実線は我々のモデルによるもの。点線は (3) 式を仮定して得られたものである。 ΔX は Mn 濃度の不均一性を示す。

第1図(A)に χ' および χ'' の周波数依存性を示す。実線はDebye型単分散を仮定して描かれたものである。この結果は T_c に近づくと共に、単分散よりのずれが大きくなる事を示している。

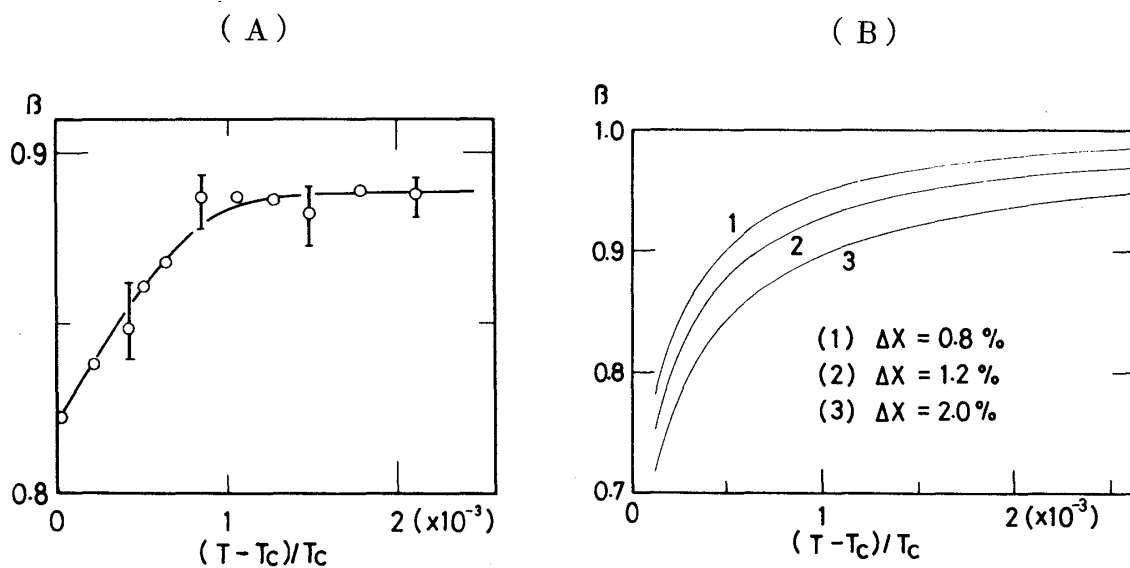
第2図(A)に $\chi(\omega)$ のCole-Coleプロットを示す。これは

$$\chi(\omega) = \chi_0 / \{1 + (i\omega\tau)^\beta\} \quad (3)$$

で良く近似される。

第3図(A)に β の温度依存性を示す。 T_c に近づくとともに多分散の度合いが増すことをはっきり示している。

以上のような実験事実を前述した模型を用いて計算された $\chi(\omega)$ の結果を用いて導いてみる。Ising spin 模型に立脚し、分子場近似を用いて、 $S^{(1)}$ 、 $S^{(2)}$ および $S^{(1)'}$ に対する χ は近似的に次のように導かれる。⁴⁾



第3図 (A) β の温度依存性

(B) 計算された $\chi(\omega)$ を(3)式で近似して得られた β の温度依存性。

$$\begin{aligned}
\chi^{(1)}(\omega) &= \frac{N^{(1)} g^2 \mu_B^2 S(S+1)}{3kT} \cdot \frac{(1+i\omega\tau)^2 - A(1+i\omega\tau) + D(A-B)}{(1+i\omega\tau) \{ (1+i\omega\tau)^2 - (AC+BD) \}} \\
\chi^{(2)}(\omega) &= \frac{N^{(2)} g^2 \mu_B^2 S(S+1)}{3kT} \cdot \frac{(1+i\omega\tau)^2 - B(1+i\omega\tau) + C(B-A)}{(1+i\omega\tau) \{ (1+i\omega\tau)^2 - (AC+BD) \}} \\
\chi^{(1)'}(\omega) &= \frac{N^{(1)'} g^2 \mu_B^2 S(S+1)}{3kT} \cdot \frac{(1+i\omega\tau) - (C+D)}{(1+i\omega\tau)^2 - (AC+BD)}
\end{aligned}
\tag{4}$$

ここで、

$$\begin{aligned}
A &= (2/3kT) J^{(1)} \sum_i p_i(r) n_i S(S+1) f_1(T), \\
B &= (2/3kT) J^{(2)} \sum_j q_j(r) m_j S(S+1) f_2(T), \\
C &= (2/3kT) J^{(1)} \sum_k t_k(r) \ell_k S(S+1) (1/f_1(T)), \\
D &= (2/3kT) J^{(2)} \sum_k t_k(r) (12-\ell_k) S(S+1) (1/f_2(T))
\end{aligned}$$

また P_i は $S^{(1)}$ スピンの最隣接位置を n_i 個の $S^{(1)'}$ スピンが占める確率であり、 q_i, t_k も $S^{(2)}, S^{(1)'}$ スピンに対して同様に定義されたものである。 f_1 および f_2 は $f_1 = \langle S^{(1)'} \rangle / \langle S^{(1)} \rangle$ および $f_2 = \langle S^{(1)'} \rangle / \langle S^{(2)} \rangle$ で定義される。それ故、平均一試料に関して χ は、

$$\chi(\omega) = \int \{ \chi^{(1)}(\omega, r) + \chi^{(2)}(\omega, r) + \chi^{(1)'}(\omega, r) \} dr \tag{5}$$

で与えられ、積分は全試料に涉って行われる。(4) (5) 式を用いて $\chi(\omega)$ の計算を計算機 (FACOM-230) によって行った結果を実験結果と比較する。

第1図(B)に χ' および χ'' の周波数依存性を実線で示してある。比較のため単分散を仮定して求められるそれは実線で示してある。実験結果と同様に、 T_c に近づくとともに多分散の度合いが増すことがはっきり示されている。濃度の不均一性 (M_n 濃度を C とすると $\Delta\chi = \frac{\Delta C}{C} \times 100\%$ で示してある) が増すとともに、多分散の度合いも増す。

第2図(B)に(5)式で計算された $\chi(\omega)$ のCole-Coleプロットを示す。点線は(3)式を用いて、出来るだけ良い一致が得られるようにして描かれた円弧である。 β の値が ~ 0.82 以下になると計算値の曲線と(3)に従う円弧の相違は大きくなるが、それより大きい β に対しては殆んど似た形になり、実験誤差のある場合、実験値がこの二つのいずれに従うかを弁別することは不可能である。

第3図(B)に計算された χ のCole-Coleプロットを(3)式で近似することにより求められた β の温度依存性を示す。これは第3図(A)の結果と非常によく似た温度変化を示している。

以上の結果より、スピンの緩和過程が多分散になる原因の一つに試料の平均一性があり、特にこの場合は、本実験で得られたような特異な β の温度依存性が現出するのではないかと考えられる。

参 考 文 献

- 1) T. Hashimoto and I. Ichitsubo: J. Phys. Soc. Japan **33** (1972) 1341.
T. Hashimoto and A. Sato: J. Phys. Soc. Japan **38** (1975) 345.
M. Matsuura, Y. Ajiro and T. Haseda: J. Phys. Soc. Japan **26** (1969) 665.
Y. Okuda, M. Matsuura and T. Haseda: J. Phys. Soc. Japan **38** (1975) 1209.
- 2) R. J. Glauber: J. math. Phys. **4** (1963) 294.
M. Suzuki and R. Kubo: J. Phys. Soc. Japan **24** (1968) 51.
- 3) C. Guillaud and H. Creveaux: C. R. Acad. Sci. **230** (1950) 1458.
J. M. Hasting and L. M. Corliss: Rev. Mod. Phys. **25** (1953) 114.
- 4) T. Hashimoto and Y. Maeda: to be published in J. Phys. Soc. Japan Vol. 40, No.6 (1976)