

25. 磁性体における Wave front と Curved Bloch wall の動力学

— multiple scaling 法による解析 —

福岡工大 中村勝弘

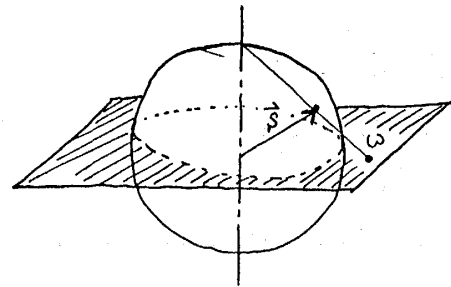
京大・理 M. Lakshmanan

Topological singularity の Kinetics や Pattern 形成の問題は、液晶の Williams domain や流体の Rayleigh-Benard convection 等に関連して研究されているが、ここでは非平衡磁性体における同様な問題を考察する。特に、薄膜磁性体では、外部磁場を制御すると Curved Bloch wall の周期構造や内部自由度 (chirality や helicity) を持つ bubble が出現することは良く知られている。他方、強磁場下の磁性体の動力学を1次元的にとり扱くと、絶対安定な pulse soliton が理論的に期待できる。実験との比較のため、この soliton を高次元化することは意味ある問題である。

磁性体の場合、流体の Navier-Stokes 方程式に相当するものは、Landau-Lifshitz-Gilbert 方程式である。まず第1に Gilbert damping の厳密な取扱いについて報告し、続いて、第2に1次元 kink や pulse soliton の高次元版である curved Bloch wall や wave front の kinetic equation を multiple-scaling 法で導出する。

spin 変数は今の場合、場の量になるが、 $(s^x(\vec{r}))^2 + (s^y(\vec{r}))^2 + (s^z(\vec{r}))^2 = 1$ という constraint からくる非線形効果をうまく処理するために、stereographic variable ω に変換する (右図参照)。新しい場の量 ω で運動方程式を書き換えると、例えば

$$i(1+\omega\omega^*)\omega_t + (1-i\lambda)[(1+\omega\omega^*)\nabla^2\omega - 2\omega^*(\nabla\omega)^2 + 2A\omega(1-\omega\omega^*) - \mu B^L(t)(1+\omega\omega^*)\omega] = 0$$



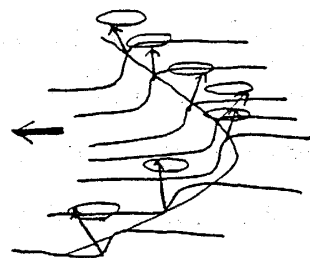
の形になる。但し、 λ は Gilbert damping の大きさを意味し、 $A, \mu B^L(t)$ は、各々、uniaxial anisotropy 及び振動型縦磁場をあらわす。上の式から自明のように damping の効果は、damping のない場合の方程式において時間を複素時間 $\tau = (1-i\lambda)t$ で置きかえることに相当する。この事実は、非平衡磁性体の動力学を著しく簡単にする¹⁾。

さて、damping がない系の (1+1) 次元の運動方程式は kink 解 (metastable) 及び

磁性体における Wave front と Curved Bloch wall 動力学 pulse soliton 解 (absolutely stable) を持ち、前者は x_0 (位置) と ϕ_0 (任意位相) で特徴づけられ、後者は更に ξ , η (巾や amplitude) を含む 4 個の parameter で特徴づけられる。driven field や curvature が競合的に共存すると、上の parameter は dynamic variable に転じる。multiple-scaling 法を用いて、 $\bar{x} = x - x_0$, $T = \varepsilon t$ (時間), $Y = \sqrt{\varepsilon} y$ ($Z = \sqrt{\varepsilon} z$) (横座標), $h^T(t) = \varepsilon \bar{h}^T$, $h^L(t) = \varepsilon h^L$ (振動磁場) ……なる scaling をおこない、元の運動方程式に代入すると、 ε について 1 次のオーダーの方程式から Bloch wall に対する方程式：

$$\begin{pmatrix} x_{0T} \\ \phi_{0T} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \lambda & -\frac{1}{\sqrt{2A}} \\ \sqrt{2A} & \lambda \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{p_{\perp}^2}{m_{\perp}} x_0 \\ \frac{p_{\perp}^2}{m_{\perp}} \phi_0 \end{pmatrix} - h^L(t) \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{2A}} \\ 1 \end{pmatrix} + h^T(t) \begin{pmatrix} (\lambda \cos \phi_0 + \sin \phi_0) / \sqrt{2A} \\ \cos \phi_0 + \lambda \sin \phi_0 \end{pmatrix}$$

を与える。これは、diffusive coupling のある非線形方程式である。Curvature が Larmor 才差運動を curved Bloch wall に沿って誘起し、この才差運動の拡散により、界面の速度が決定されるという機構は、TDGL 界面の Allen-Cahn 型の運動機構と決定的に異なる (上図参照)。Pulse soliton から導出される Wave front の場合も、同様な拡散型の方程式がえられる²⁾。上の方程式を解き、界面の fractal を議論することは今後の課題である。



参 考 文 献

- 1) M. Lakshmanan and K. Nakamura; Phys. Rev. Lett. **53** (1984) 2497.
- 2) K. Nakamura and M. Lakshmanan; in preparation.