

参考文献

- 1) B. Durhuus, J. Fröhlich, T. Jónsson; Nucl. Phys. B240 [FS12] 453 (1984) and refs. therein.
 - 2) H. Tasaki; (review) 物性研究 42 - 6, 739(1984)
 - 3) 服部哲也, 原隆, 田崎晴明; (review) 月刊フィジックス 41, 613
 - 4) H. Tasaki, T. Hara; "A Model of Random Surfaces including Arbitrary Surfaces" (preprint, 1984).
- "Critical Phenomena in a Model of Random Frames" (in preparation).

22. Extended Defects in the 2-Component Spin Systems

東北大・工 山 崎 義 武

湘北短大 落 合 萌

東北大・教養 福 田 義 一

初期の研究段階での相転移と臨界現象の研究は pure な系においては秩序-無秩序相の相転移, impurity 系においては impurity 系に固有な相が出現するかどうか, について簡単な相互作用の体系で研究され, 最近の研究は, 複雑な相互作用をもつ体系で新しいタイプの相あるいは, パターンの形成される過程の研究に移ってきた。

相転移臨界現象の立場からも新しい特徴が導びかれ, パターン形成の過程の理解にもつながる問題として次のように考える。cubic 異方性結晶の格子点に XY 型スピン原子が配列した規則系で, 非磁性原子又は, 点状欠陥 (hole) が磁性原子とおきかわってゆくときいろいろなパターンの形成の過程が見られる。一般的なパターンの形成過程を微視的に取り扱うのは難しいので, 複雑なパターンの構造を fractal 次元としてとらえることにより, 最も単純化した構造の Hamiltonian 系で最初に定性的に理解しておくことを目的とする。

Model : d 次元結晶の中で, ε_d (正の実数) 次元にわたって伸びた欠陥がつらなって構造を形成し, 残りの d ($\equiv d - \varepsilon_d$) 次元の領域にわたって点状欠陥が無秩序に分布する系を考える。その体系の Hamiltonian は

$$\mathcal{H}(\varphi, V) = \int d^d x \left[\frac{1}{2} \sum_{\alpha=1}^2 \{ |\nabla_{\perp} \varphi_{\alpha}|^2 + a_b^2 |\nabla_{\parallel} \varphi_{\alpha}|^2 + r_b \varphi_{\alpha}^2 + V(x_{\perp}) \varphi_{\alpha}^2 \} \right]$$

$$+\frac{\hat{u}_s}{4!}\left\{\sum_{\alpha=1}^2\varphi_{\alpha}^2\right\}^2+\frac{\hat{u}_c}{4!}\sum_{\alpha=1}^2\varphi_{\alpha}^4\right\}$$

と書け, $\hat{u}_s$, $\hat{u}_c$ はそれぞれ, 等方性, cubic 異方性の相互作用で, 欠陥との相互作用 V は random potential $\mathcal{D}_V(V) = N_V \exp [-(8A)^{-1} \int d^d x_{\perp} V^2(x_{\perp})]$ 即ち, $\langle V(x_{\perp})V(y_{\perp}) \rangle = A\delta^d(x_{\perp}-y_{\perp})$ で表わされる場合を考える。系の dynamics は stochastic Langevin 方程式 $\partial \varphi_{\alpha}(x, t) = -\lambda \delta \mathcal{H} / \delta \varphi_{\alpha}(x, t) + \eta_{\alpha}(x, t)$ に従うものとする。

方法：くりこみ理論を用いる。欠陥によってつくり出される空間的な異方性のために, 適用されるくりこみ理論は大変複雑な形になる。計算は, 更に, $\varepsilon (\equiv 4-d)$, $\tilde{\varepsilon} (\equiv \varepsilon + \varepsilon_d)$ の二つの parameters による展開として進められる。

結果：まず, 固定点とその安定性の結果によると, 欠陥の現われないときには規則的な XY spin (P_{XY}) 系が最も安定で, 欠陥が現われると点状欠陥を伴った XY spin (D_{XY}) 系 ($\varepsilon_d = 0$) が最も安定になる。この固定点の近くで軌跡は, $0 \leq \varepsilon_d / \varepsilon < 1/(17 + \sqrt{384}) \doteq 0.02733$ のとき単調に, $0.02733 \leq \varepsilon_d / \varepsilon$ のとき spiral をえがいて, その固定点に近づく (図 1)。そのとき, 例えば帯磁率の逆数は $\chi^{-1} = c_1 t^r \exp [c_2 \times t^{\lambda_R} \cos(\lambda_I \ln t + \theta) + c_3 t^{\lambda_c}]$ (c_1, c_2, c_3, θ は non-universal constants ; 固有値 $\lambda \equiv \lambda_R \pm i \lambda_I$, λ_R, λ_I : 正の実数) のように振動的な振舞が現われる。

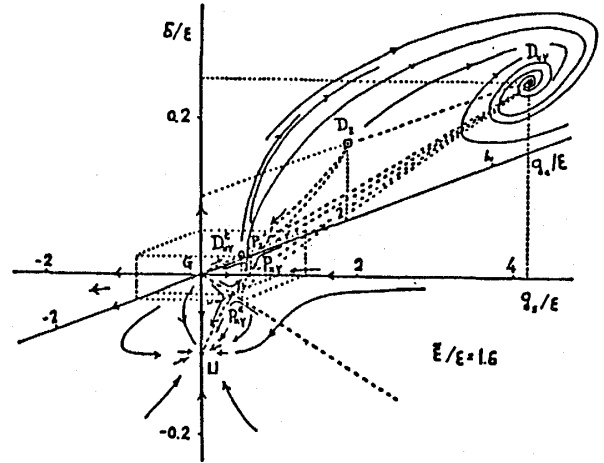


図 1

cubic 異方性結晶中の伸びた欠陥を伴う XY spin (D_{XY}^c) 系の固定点に近づく軌跡上で二次相転移が現われる。その振舞を特徴づける臨界指数を表 1 a, b (c, d は比較のため) に示す。 δ^* はくりこまれた欠陥の相互作用の値, φ は randomness に対する crossover 指数, $\perp (\parallel)$ は伸びに欠陥に垂直 (平行) な方向の成分, $z_{\perp}$, $z_{\parallel}$ は動的臨界指数を表わす。

D_{XY}^c の固定点から系の free energy の不安定領域 (図 2 の斜線の下側) へ流れ去る軌跡上で一次相転移が現われ, $2g_s - 48(\delta - \delta^*) + 3g_c = 0$ の面が三重臨界点の面になる。三重臨界指数と principal trajectory (図 2 の点線) 上の一次相転移温度 (固定点からの shift) g_t と磁化のとび ΔM を得ることが出来た (表 2)。

表 1

case	(a) $\xi = 1$ $N=2$											
ξ_d	δ^*	φ	$\nu_{\perp}$	$\nu_{\parallel}$	γ	$\eta_{\perp}$	$\eta_{\parallel}$	ξ	$z_{\perp}$	$z_{\parallel}$	α	
0	0.034	0.244	0.534		1.069	0			2.138		-0.138	
0.2	0.043	0.360	0.543	0.586	1.086	0	0.172	1.086	2.172	2	-0.172	
0.4	0.050	0.477	0.550	0.600	1.100	0	0.201	↑	2.201	2	-0.201	
0.6	0.056	0.594	0.556	0.613	1.113	0	0.226		2.226	2	-0.226	
0.8	0.062	0.710	0.562	0.624	1.124	0	0.248		2.248	2	-0.248	
1.0	0.067	0.827	0.567	0.634	1.134	0	0.268	γ	2.268	2	-0.268	
1.2	0.072	0.944	0.572	0.643	1.143	0	0.286		2.286	2	-0.286	
1.4	0.076	1.060	0.576	0.652	1.152	0	0.304		2.304	2	-0.304	
1.6	0.080	1.177	0.580	0.660	1.160	0	0.320		2.320	2	-0.320	
1.8	0.084	1.294	0.584	0.668	1.168	0	0.336	↓	2.336	2	-0.336	
2.0	0.088	1.352	0.588	0.676	1.176	0	0.351	1.176	2.351	2	-0.351	

case	(b) $\xi = 2$ $N=2$											
ξ_d	δ^*	φ	$\nu_{\perp}$	$\nu_{\parallel}$	γ	$\eta_{\perp}$	$\eta_{\parallel}$	ξ	$z_{\perp}$	$z_{\parallel}$	α	
0	0.046	0.309	0.549		1.097	0			2.195		-0.195	
0.2	0.055	0.442	0.555	0.610	1.110	0	0.221	1.110	2.221	2	-0.221	
0.4	0.061	0.575	0.561	0.622	1.122	0	0.244	↑	2.244	2	-0.244	
0.6	0.066	0.709	0.566	0.632	1.132	0	0.265		2.265	2	-0.265	
0.8	0.071	0.842	0.571	0.642	1.142	0	0.284		2.284	2	-0.284	
1.0	0.076	0.975	0.576	0.651	1.151	0	0.302	γ	2.302	2	-0.302	
1.2	0.080	1.109	0.580	0.659	1.159	0	0.319		2.319	2	-0.319	
1.4	0.084	1.242	0.584	0.667	1.167	0	0.335		2.335	2	-0.335	
1.6	0.088	1.375	0.588	0.675	1.175	0	0.350		2.350	2	-0.350	
1.8	0.091	1.509	0.591	0.682	1.182	0	0.365	↓	2.365	2	-0.365	
2.0	0.095	1.642	0.595	0.689	1.189	0	0.379	1.189	2.379	2	-0.379	

case	(c) Isotropic $\xi=1, \xi_d=0$					
N	ν	γ	z	s	α	
1	0.673	1.310	0.019	2.0135	0.108	
2	0.722	1.400	0.020	2.0145	0.046	
3	0.820	1.478	0.021	2.015	0.011	

case	(d) Cubic anisotropic $\xi=1, \xi_d=0$			
N	γ	z	s	α
3	1.222	0.021	2.015	0.244

これらの結果から得られる主な特徴は(1)欠陥は spin-spin 或は energy-energy の相関の相互作用路をたち切る働きをして、短距離相関を強め (cf. $\eta_{\perp}, \eta_{\parallel}$), 長距離相関を弱め ($r, \nu_{\perp}, \nu_{\parallel}$) する。即ち、見かけ上次元を下げ、古典的な振舞に近づく。この傾向は平行成分より垂直成分において顕著であり、比熱は発散しない。(2)伸びた欠陥は crossover 指数 $\varphi = \alpha_p + \varepsilon_d \nu_p$ (α_p, ν_p は規則系の指数 α, ν) を広い範囲にわたって正の値、即ち、無秩序系に特有な性質を出現させる。(3)指数 $\{\nu_{\perp}, \nu_{\parallel}, r, \eta_{\parallel}, \xi, z_{\perp}\}$ は $\varepsilon_d, \varepsilon$ とともに増える。(4) cubic 異方性は軸方向に容易磁化方向を取るのもにゆらぎの効果を小さくする。

表 2

case	(a) $\xi = 1$				(b) $\xi = 2$			
ξ_d values	g_t^*	c_t^*	ΔH^*	$1/z_s$	g_t^*	c_t^*	ΔH^*	$1/z_s$
0	0.503	0.199	0.817	3.634	0.448	0.281	0.720	5.144
0.2	0.515	0.185	0.802	2.900	0.444	0.289	0.681	4.529
0.4	0.520	0.180	0.783	2.490	0.440	0.296	0.648	4.098
0.6	0.521	0.178	0.762	2.216	0.437	0.303	0.618	3.776
0.8	0.522	0.177	0.740	2.019	0.434	0.309	0.591	3.521
1.0	0.522	0.177	0.720	1.868	0.432	0.314	0.568	3.311
1.2	0.523	0.177	0.700	1.746	0.430	0.318	0.547	3.137
1.4	0.523	0.177	0.681	1.645	0.429	0.321	0.528	2.987
1.6	0.523	0.177	0.664	1.561	0.427	0.323	0.511	2.857
1.8	0.523	0.176	0.648	1.488	0.427	0.325	0.495	2.744
2.0	0.524	0.176	0.632	1.423	0.426	0.326	0.481	2.643

case	(c) cubic anisotropic							
ξ_d ξ	$\xi = 1$				$\xi = 2$			
0	0.026	0.168	2.389	3	0.052	0.168	1.689	1.5

Note	$g_t = g_t^* (g_s/g_s^*)^{2/z_s}$, $g_s^* = (c_t^*)^{\frac{2}{z_s}}$, $\Delta H = \Delta H^* (g_s/g_s^*)^{1/z_s}$ $z_s = \{ z_s \text{ for (a) and (b), } 1/3 \text{ for (c)} \}$							
------	--	--	--	--	--	--	--	--

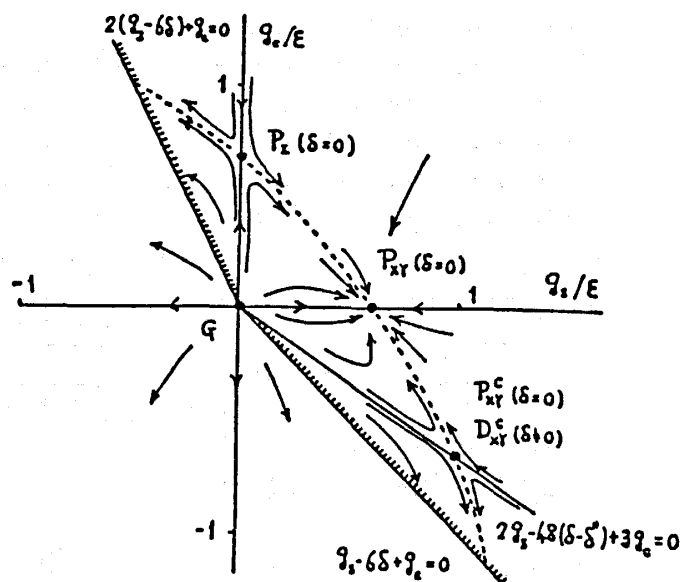


図 2

参考文献

- 1) Y. Yamazaki, M. Ochiai and Y. Fukuda; J. Phys. C, Critical Behavior of Two-component Spin System with Coordinate Anisotropy due to Random Impurities in Cubic Anisotropic Crystalline.
- 2) Y. Yamazaki, A. Holz, M. Ochiai and Y. Fukuda; J. Stat. Phys, Static and Dynamic Properties of XY Systems with Extended Defects in Cubic Anisotropic Crystallines.