の係数を厳密に計算することができる。相関函数は局所的スピン保存則により，空間的に波打ちながら発達していき，構造因子は温度にしたがって一相域，二相域にかかわらず特定の有限の波数の所からピークが成長していくことが調べられる。

一次元系では，二体相関函数の運動方程式の右辺に現われる四体相関函数に対し，平衡状態で厳密に成立つ二体の積で近似することにより，上記の振舞を再現できる。この近似は，短時間域で厳密な展開と同じ展開を与えると同時に，平衡状態が実現されるという点で，従来のGaussian 近似より改良されていると考えられる。二，三次元では一般の多体相関を厳密に二体相関の積で表わす方法がないため，今のところ応用はできない。

臨界点近傍での液体のスピノダル分解

九大・理　川　崎　恭　治
太　田　隆　夫

非線型非平衡系の諸問題の一つとして，非定常な系，例えば，熱力学的に安定な系を突然(所謂，臨界点を越えて)不安定な状態に置いた時に示す系の過渡的現象，にも興味が持たれている。新しい状態に移行する過程に於いて，揺ぎが熱的レベルを越えて異常に増大する。固溶体等で観測されているスピノダル分解はその典型的な例である。

最近，液体においても，その臨界点近傍でスピノダル分解の観測がなされた。[1] 理論的にも液体のスピノダル分解の初期過程の研究が発展しつつある。[2] 我々は文献 2）の考察に基づき，液体のもつ臨界点近傍での特徴的自由度に注目して，簡単な近似の範囲で，それの揺ぎの成長に与える効果を調べた。

液体の局所秩序変数 $S(r)$ の確率分布汎関数 $P(\{S\},t)$ の従う方程式には二種類の非線型性がある。[2] 一つは TDGL 型非線型項であり，もう一つは速度場を媒介にして秩序変数間に生じる長距離相互作用(流体力学的相互作用)である。後者は平衡の近くでは輸送係数の繰り込みとして働き臨界点近傍では前者を凌駕するが，平衡の $S(r)$ の確率分布には影響を与えない。このような性質を考慮して次のような $S(r)$ のフーリェ成分 S_q についてのモデル方程式を導入しよう。

$$\frac{\partial}{\partial t} P(\{S\}, t) = (\mathscr{L}_0 + \mathscr{L}_1) P(\{S\}, t) \tag{1}$$

ここに,

$$\mathscr{L}_0 = L \int_q^L q^2 \frac{\delta}{\delta S_q} \left[\frac{\delta}{\delta S_{-q}} + \frac{\delta \Phi}{\delta S_{-q}} \right] \tag{2}$$

$$\mathscr{L}_1 = -2 \int_{k,q,p}^L \frac{\delta}{\delta S_k} S_{k-q}\, k \cdot T_q \cdot p\, S_{q+p} (K p^2 + \tau^t) S_{-p} \tag{3}$$

注目する波数は $0 \leq q \geqq ((1+\sqrt{2})/2)^{1/2} \kappa \equiv \Lambda \kappa$ のものに限られる。L は $q > \Lambda \kappa$ のモードを繰り込んだ輸送係数である。[2] (κ の定義は (6) で与えられる。) T_q はオセーンテンソルのフーリェ成分である。即ち, η を粘性率として,

$$T_q = \frac{1}{2\eta} \left[\frac{1}{q^2} - \frac{q \cdot q}{q^4} \right] \tag{4}$$

熱力学的ポテンシャルΦ は

$$\Phi = \int_q^< \left\{ \frac{K}{2} q^2 S_q S_{-q} + \frac{\tau^t}{2} S_q S_{-q} \right\} + \frac{g}{4!} \int_{q,k,p}^< S_q S_k S_p S_{-q-k-p} \tag{5}$$

ここに, K は表面エネルギー, g は結合常数である。また,

$$\tau^t = \begin{cases} K \ \kappa_i^2 & t < 0 \\ -K \ \kappa^2 & t > 0 \end{cases} \tag{6}$$

として, $t > 0$ で不安定状態を実現する。モデル (1) ~ (3) はスピノダル分解の初期線型領域で正しい揺ぎの成長率[2] を与えることに注意。無次元量 ($k_B T = 1$) を導入しよう。

$$\hat{q} = q/\kappa, \quad \hat{t} = 2L\kappa^4 K/t, \quad \hat{I}_{\hat{q}}(\hat{t}) = K\kappa^2 I_q(t),$$
$$L^* = K \eta \kappa^{4-d} L, \quad g^* = K^{-2} \kappa^{d-4} g \tag{7}$$

ここに，

$$I_q(t) \equiv \int d\{S\}\ S_{\mathbf{q}} S_{-\mathbf{q}}\ P(\{S\},t) \tag{8}$$

以後，ハットを略する。

(1)～(3)を摂動的に扱いその最低次の近似で

$$\frac{\partial}{\partial t} I_q(t) = -q^2\Big\{(q^2-1)+\frac{g^*}{4\pi^2}\int_0^{\Lambda} dk\ k^2\ I_k(t) + \frac{1}{4\pi^2 L^*}\int_0^{\Lambda} dk\ k^2\ Q(q/k)\, I_k(t)\Big\}\ I_q(t) + q^2 \tag{9}$$

を得る。ここに，

$$Q(x) = (x^2-1)\Big\{\frac{1}{2}\Big(\frac{1}{x}+\frac{1}{x^3}\Big)\ \ell n\ \Big|\frac{1+x}{1-x}\Big| - \frac{1}{x^2}\Big\} \tag{10}$$

$Q(x)$ を含む項が流体力学的長距離相互作用からの寄与である。(9)においてこの項だけに注目すると総和則

$$\frac{\partial}{\partial t}\int_q^{<} I_q(t) = 0 \tag{11}$$

を満たすことに注意。総和則(11)と積分核(10)の関数型から、流体力学的非線型性は短波長モードから長波長モードへの揺ぎのカスケードの役割を担っていることがわかる。従って，長波長の揺ぎの成長に関して流体力学的非線型性はTDGL型のそれより強く作用すると期待される。実際，(9)の数値計算の結果はこのことを如実に示している。[3]

(7) に於いて元のスケールに直すと，

$$I_q(t) = K^{-1}\,\kappa^{-2}\,F(q/\kappa,\ \kappa^d/(\eta t)) \tag{12}$$

となる。関数Fに一つの制限をおくと $q/\kappa \to \infty$, $\kappa^d/(\eta t) \to \infty$ の極限で，ピークの位置 q_t は

$$q_t \propto t^{-(1/d)} \tag{13}$$

と表わせる。[4] こうしたスピノダル分解の終段階とつなげるためには，所謂，乱流領域[5]

あるいはスケーリング領域[6]での理論を発展させねばならない。

理論的立場からみると液体のスピノダル分解は充分発達した乱流とある種の類似性がある。また，動的臨界現象で特徴的な諸性質が過渡現象の中で発現する可能性がある。このような現象としての多様性，かつ，理論的基礎が明確であるという点から鑑みて，スピノダル分解の研究はこれからの非平衡系の重要な問題の一つであろう。

参 考 文 献

1) J.S.Huang, W.I.Goldburg and A.W.Bjerkaas, Phys. Rev. Letters, **32** (1974), 921.
W.I. Goldburg and J.S.Huang, in *Physics of Non-Equilibrium Systems,* ed. T.Riste (1975).
2) K.Kawasaki, to be pablished in Prog. Theor. Phys.
3) T.Ohta and K.Kawasaki, submitted to Prog. Theor. Phys.
4) K.Kawasaki, Prog. Theor. Phys. **56** (1976), No.6.
5) K.Kawasaki, Prog. Theor. Phys. (to be published)
6) M.Suzuki, Prog. Theor. Phys. **56** (1976), 77.

冷しそこひの統計力学

東大・理　　北 原 和 夫

牛の眼を冷蔵庫に入れて冷やしておくと，眼のレンズが白く濁ることが知られている。TANAKA と BENEDEK[1),2)] はレーザー光の散乱光子相関法により，レンズの中にある蛋白質粒子の拡散係数を測定した。STOKES−EINSTEIN の法則を認めるならは，拡散係数から，蛋白質粒子の大きさを評価することができる。このようにして，温度を下げてゆくと、蛋白質粒子が次第に大きくなり，ある温度 T_c で急に，大きなクラスターが生成され，光が強く散乱され，これが、冷しそこひという現象であることが確かめられた。これを統計力学的にとり扱うには，従来の核形成[3)]の理論を援用すればよい。先ず，レンズは，水とN 個の蛋白質粒子の体積 v_0（半径 20Å 位だと思われている。[2)]）は水分子よりも十分大きいとして，水は連続体の外場として扱う。今，N 個の