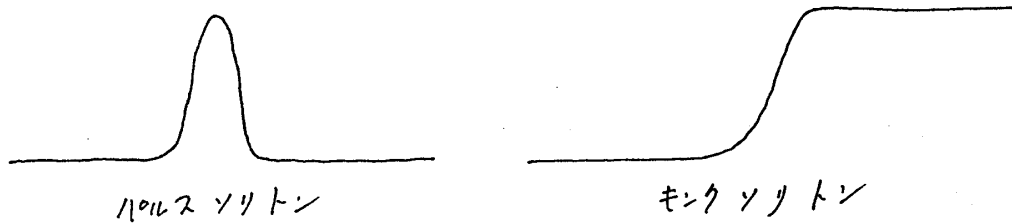


Title	トポロジカルな欠陥と非平衡(秩序化過程における協力と乱れ-その動力学的研究-(第2回), 科研費研究会報告)
Author(s)	川崎, 恭治
Citation	物性研究 (1984), 43(2): 86-87
Issue Date	1984-11-20
URL	http://hdl.handle.net/2433/91472
Right	
Type	Departmental Bulletin Paper
Textversion	publisher

動的臨界現象に代表されたような従来の非平衡相転移現象では、平衡的秩序変数のゆらぎやその間の非線型結合が主役であった。しかしこれと相補的な局在励起（或はソリトンの励起）が主役を演じる現象が注目を集めている。このようなものの典型として昔から知られた二つの非一次相転移の動力学的現象として現れた核生成の問題である。関連する問題としてスピノダル分解の後期過程で現れた界面の動力学的や局在物質の秩序化過程で現れたモノクの動力学的である。更に過冷却液体やアモルファス固体等もこの様な欠陥の集合として理解される。この欠陥をソリトンはトポロジカルなものであると云う事が重要である。この事を説明するためにKdV方程式等から出てくるノルソリトンとSine-Gordon方程式に出てきたモノクソリトンと比較してみた。



ノルソリトンとモノクソリトンはそれぞれ異なる状態において局所的に変化を伴う。又この二つが同時にソリトンの存在を許すことができる。一方、モノクソリトンはソリトンの右半分又は左半分の状態を許すことができる。又ソリトンが二つ重なるとモノクソリトンのような状態になる。したがってモノクソリトンは安定性が非常に高い。この事を云うのはモノクソリトンは保存則（モノクソリトンの数） - (反モノクソリトンの数) = 一定 を満たしているからである。一方、エネルギー的にはノルソリトンもモノクソリトンも一般に同程度である。モノクソリトンはトポロジカルな欠陥の典型で、一般にトポロジカルな欠陥は保存則のために安定性が高く、したがって寿命が長く、僅かの励起エネルギーで非常に大きな状態の変化を伴う。これらの事を考えたとしても、トポロジカルな欠陥が非平衡現象で果たす役割の重要性を想像することはできる。高次元系における保存則の例として結晶の転位線、液体ヘリウムの渦糸、液晶の disclination line, アモルファス固体の Rivier 線や frustration line は体系内では必ず閉曲線を作ることになる。

上で述べた事の一例の帰結としてトポロジカルな欠陥の性質と、欠陥の存在する系以外の所での状態によって特徴が付けられることができる。例えば液体⁴Heの渦糸のまわりの閉曲線を一週すると秩序変数の位相が 2π だけ変化する。又液晶の disclination line では director の方向が $2\pi m$ だけ変化する。ここで m は disclination の強さをあらわす。この閉曲線

の一方は一意的ではなく互に連続的変形により変えられることを示す (このことをホモトピーと呼ぶ) 同値な閉曲線の集合を考へることを示す。更に同値な閉曲線の集合の全体を考へると、これは同値な集合を一つの元とする群を成してこれを示す。今の場合は群を一次元ホモトピー群と云う。欠陥の安定性は、ホモトピー群の異なる元で表わした状態を自由に切り替えることを示すという形で表現される。例えは強さの異なる disclination をもつ状態の間は自由に切り替える。所以今序はこの事を逆手に取り、欠陥のトポロジ-を定える自由な変化に対して不変になるような理論を考へることを示す。これは以下で簡単に触れたゲージ理論である。

今液体 ^4He を例にとりゲージ理論を説明する。懸素秩序変数 $\psi(\underline{r})$ に対する Ginzburg-Landau 自由エネルギー

$$H[\psi] = \int d\underline{r} \left\{ \frac{1}{2m} |\nabla \psi(\underline{r})|^2 + P(|\psi(\underline{r})|^2) \right\} \quad (1)$$

を考へる。 $\psi(\underline{r})$ は渦糸の中心で非零、他では $\psi_0 (> 0)$ とする。これを中心で ψ の位相は特異的になる。特異的である領域に限り位相 $\varphi(\underline{r})$ は well-defined であるが多価である。即ち渦糸をまわれば 2π だけ変化する。これをあらわすために

$$\psi(\underline{r}) = \psi_0 e^{i\tilde{\varphi}(\underline{r})} + A(\underline{r}) \quad (2)$$

と置く。 ψ_0 は $\tilde{\varphi}$ の一価で $A(\underline{r})$ は多価である効果を示すベクトルポテンシャルである。新しい秩序変数

$$\tilde{\psi}(\underline{r}) = \psi_0 e^{i\tilde{\varphi}(\underline{r})} \quad (3)$$

を定義すれば (1) を変形し、小さな項 (渦糸の太さを含む) を無視すると、次の結果を得る:

$$H[\tilde{\psi}] = \frac{1}{2m} \int d\underline{r} |\underline{D}\tilde{\psi}(\underline{r})|^2 + g \int d\underline{r} |\underline{D} \times \underline{A}(\underline{r})|^2 \quad (4)$$

ここで g はある定数で $\underline{D}(\underline{r}) \equiv \underline{D} + i\underline{A}(\underline{r})$ は共変微分である。(4) は $\underline{A}(\underline{r})$ を任意の整数 \times した下記のゲージ変換に対して不変である。

$$\tilde{\psi} \rightarrow e^{i\alpha} \tilde{\psi}, \quad \underline{A} \rightarrow \underline{A} - \underline{D}\alpha \quad (5)$$

この様な理論はゲージ変換が非可換であったような液晶の場合にもつたことを示す。更に非平衡問題への応用も試みている。この様な理論家の遊びと思われたかも知れないが多数の欠陥が複雑に絡みあつた場合を扱うには有用な枠組となつて来た。

(1) K. Kawasaki and H. R. Brand, to be published

一般的文献として

I. Dzyaloshinskii, in *Physics of Defects*, eds. Balian, Kléman, Poirier (North-Holland, 1982)

N. D. Mermin, *Rev. Mod. Phys.* 51 (1979) 549

M. Rivier, in *Topological Disorder in Condensed Matter*, eds. Yonezawa and Ninomiya (Springer, 1983)