

# カイラルガラス — スピングラス磁性体と高温超伝導セラミックス

大阪大学 理学研究科 川村 光<sup>1</sup>

カイラリティとは元来、右手左手に由来する、鏡映変換で互いに移り変わるような離散的な2価の自由度のことをさす。カイラリティ（キラリティ）は分子化学では立体〔光学〕異性体などを通じて極めて良く知られた概念であるが、多体問題・協力現象を主たる対象とする物性物理の分野で注目を集めるようになったのは比較的最近のことである。研究会では、筆者の最近の研究からの話題として、スピングラス磁性体と高温超伝導セラミックスの秩序化現象を取り上げ報告した。そこでは、カイラリティ自由度がガラス的な秩序を形成し、そのことが物理的にも重要な役割を果たしている可能性が高い。

## 1) スピングラス磁性体

スピングラスは強磁性的な相互作用と反強磁性的な相互作用が拮抗しているランダム磁性体のことである。フラストレーションとランダムネスが共に存在するようなコンプレックス系の典型例として、特にその相転移、秩序化現象の解明は理論実験両面が大きな興味を持たれ、長年にわたって活発な研究が行われてきた。実験的には少なくとも典型的なスピングラス磁性体に関しては熱平衡状態での相転移の存在は確立されているものの、実験的に観測される現実のスピングラス転移やスピングラス秩序状態の性格については研究者の間で意見が分かれており、未だに解決に至っていない。

筆者は一連の研究を通じ、磁気異方性が比較的弱い大多数のスピングラス磁性体、とりわけ希薄磁性合金であるカノニカルスピングラスに関しては、これまでの研究では必ずしもあまり注目されていなかったカイラリティ（スカラーカイラリティ）とよばれるフラストレート系特有の多スピン量が極めて重要な役割を果たす可能性に着目し、実験的なスピングラス転移とスピングラス秩序相に関する新たな具体的な仮説としてカイラリティ機構を提案してきた [1, 2, 3]。これは通説とは大きく異なる観点からスピングラス転移を見るものであり、現時点では必ずしも広く受け入れられた定説にはなっていないが、近年数値シミュレーションや実験データなどからこの仮説の妥当性を裏付ける結果も次第に得られつつある。この仮説においては、実際のスピングラス転移では、スピン自体ではなく、カイラリティが隠されたオーダーパラメータとして本質的な役割を果たしているとする。特に磁気異方性がない等方的な3次元ハイゼンベルグスピングラス系では、スピン秩序を伴わずにカイラリティのみがランダムオーダーするカイラルガラス相が実現する点（スピン-カイラリティ分離）、また現実の磁性体には必ず存在している弱いランダ

<sup>1</sup> E-mail: kawamura@ess.sci.osaka-u.ac.jp

μ磁気異方性がスピンとカイラリティを混合し現実のスピングラス磁性体ではカイラリティの臨界現象がスピン自由度に反映されるとする点（スピン-カイラリティ混合）、が本質的である。実際 物性研の福島氏と筆者による最近の平衡および非平衡のモンテカルロシミュレーションの結果により、これらの仮定は数値的にも支持されている [5, 4, 6, 7]。

講演では、さらにこれらのスピン-カイラリティ分離およびスピン-カイラリティ混合といった仮定から導かれる諸結果についても報告し、既存の説では説明が困難であったいくつかの実験事実がカイラリティ仮説に基づく極めて自然に理解されることを示した [1, 8]。詳しくは、引用文献を参照されたい。

## 2) 高温超伝導セラミックス

銅酸化物高温超伝導体は焼成条件によってしばしば粒状構造をとる。他方、銅酸化物高温超伝導体の超伝導オーダーパラメータは d 波対称性を持つことが明らかになっているが、筆者は以前の研究により、d 波対称性を持つ粒状のセラミック超伝導体においては s 波超伝導体とは異なり零磁場下でもフラストレーションが生じ、その結果零磁場でも時間反転対称性が破れ自発的に超伝導ループカレントが生じた新しいタイプの秩序相 – カイラルグラス相 – が現れ得ることを指摘した [9]。この秩序状態のオーダーパラメータは超伝導ループカレントであるが、実はこの量が XY スピン系のカイラリティ（ベクトルカイラリティ）にちょうど対応しており、半整数ボルテックスの自由度を持っている。

筆者は M.S. Li 氏と共同で行ったモデル系に関する一連の数値シミュレーションを通じて、実際適当な条件下でカイラルグラス状態が実現し得ること、また秩序相や相転移の静的および動的諸特性をスケーリング理論も併用しつつ数値的・理論的に明らかにした [10, 11, 12, 13]。講演ではこれらの諸結果を簡単に紹介した。また近年の京都工芸繊維大の松浦グループを中心とした高温超伝導セラミックスに関する実験的研究により、このようなカイラルグラス相の存在は実験的にも次第に支持されつつある。より詳しいシミュレーション結果や実験との関連については、引用文献を参照されたい。

## 参考文献

- [1] 川村光, 固体物理 34 巻 6 号 (1999), 7.
- [2] Hikaru Kawamura, Phys. Rev. Letters **68** (1992), 3785.
- [3] Hikaru Kawamura, Int. J. Mod. Physics **7** (1996), 345.
- [4] Hikaru Kawamura and Kohji Hukushima, in *Computer Simulation Studies in Condensed Matter Physics XI*, Eds. D.P. Landau and H.B. Schüttler (Springer Verlag, Heidelberg, Berlin, 1998), 7.
- [5] Hikaru Kawamura, Phys. Rev. Letters **80** (1998), 5421.

- [6] Hikaru Kawamura and Kohji Hukushima, Int. J. Mod. Phys., C10 (1999), 1.
- [7] Kohji Hukushima and Hikaru Kawamura, Phys. Rev. E61, (2000), R1008.
- [8] Hikaru Kawamura, in preparation.
- [9] Hikaru Kawamura J. Phys. Soc. Jpn. 64 (1995), 711.
- [10] Hikaru Kawamura and Mai Suan Li, Phys. Rev.B54 (1996), 619.
- [11] Hikaru Kawamura and Mai Suan Li, Phys. Rev. Letters 78 (1997), 1556.
- [12] Hikaru Kawamura and Mai Suan Li, J. Phys. Soc. Jpn. 66 (1997), 2110.
- [13] Hikaru Kawamura, to appear in Suppl. J. Phys. Soc. Jpn. (2000).