

陽子、中性子、パイ中間子などのハドロン粒子の間に働く強い相互作用は、クォークとグルーオンを基本的自由度とする量子色力学（Quantum ChromoDynamics, QCD）と呼ばれる非可換ゲージ理論により記述されると考えられている。低温・低密度の QCD 物質は、カイラル対称性が自発的に破れた閉じ込め相にあるが、高温・高密度においては、系はカイラル対称性の回復した非閉じ込め相（クォーク・グルーオン・プラズマ相）へ相転移を起すと期待される。現在、クォーク・グルーオン・プラズマを実験室で作るための相対論的重イオン衝突実験がアメリカのブルックヘブン国立研究所（BNL）等で行われている。本講演ではカイラル相転移の臨界現象について議論する。

従来、平衡状態におけるカイラル相転移の静的な性質については、格子ゲージ計算や低エネルギー有効模型を用いた解析が多くある。一方、非平衡状態における動的な性質についての理解は比較的乏しい。相対論的重イオン衝突実験では系は時間発展するため、非平衡状態における QCD 物質の理解が重要である。カイラル相転移の動的臨界現象を議論することが本講演の目的である。

一般に2次相転移点（臨界点）は universality class へ分類することが可能である。同じ universality class に属する臨界点は同じ臨界現象を示す。例えば、相関長、感受率あるいは緩和時間などの発散を特徴づける臨界指数は、同じ universality class に属すれば同じ値をとる。静的な場合、universality class は系が持っている対称性と空間次元によって分類することができる。例えばカイラル相転移の場合、カイラル変換は $SU(2)_L \otimes SU(2)_R$ であるが、これは $O(4)$ の回転群と同型であるので、カイラル相転移は強磁性体や反強磁性体などの回転対称性を持つ臨界点と同じ universality class に属することになる。

動的な universality class の分類法はより複雑である。臨界点近傍の特徴的な非平衡現象として、非平衡状態から平衡状態への緩和時間が長くなる臨界減速と呼ばれる現象がある。このため系の時間発展は、いわゆる「遅い変数」と呼ばれる特定の力学的自由度のみで記述することが可能である。通常遅い変数は、相転移の秩序変数と保存量で与えられる。この遅い変数（秩序変数と保存量）によって分類するというのが、Hohenberg と Halperin によって確立された動的 universality class の分類法である。

この分類法によってカイラル相転移の動的 universality class を分類すると反強磁性体と同じ動的 universality class になることがわかる (Rajagopal & Wilczek:1993)。しかしながらこの同一視はあまりにナイーブであり正しくない。我々はカイラル相転移と反強磁性体の違いを注意深く吟味し、カイラル相転移の動的臨界現象を再解析する。そして従来の Hohenberg と Halperin による動的 universality class の分類法を再考する。

遅い変数の揺らぎは slow mode と呼ばれるが、slow mode には2種類ある。伝播（振動）モードと拡散（減衰）モードである。カイラル相転移の秩序変数はメゾン場であり、その揺らぎはメゾン粒子つまり伝播モードであるが、一方、反強磁性体の秩序変数の揺らぎは拡散モードであることが知られている。これが両者の違いである。我々はモード結合理論と呼ばれる理論を用いカイラル相転移を再解析する。その結果、メゾンモードの記述のためには、秩序変数と保存量の他に、秩序変数（メゾン場）に対する共役運動量が遅い変数として必要であることを指摘する。従って、秩序変数と保存量によって分類する従来の分類法は不完全である。

我々はさらに、メゾンモードについてくりこみ群を用いたより詳細な解析を行う。その結果、伝播モードと拡散モードに対する2つの固定点を見つけ、伝播モードは臨界点近傍で過減衰となり、拡散モードへ crossover することを見出す。これは、カイラル相転移においてはメゾンモードは粒子性を失い過減衰となり、カイラル相転移の動的 universality class は臨界点近傍においては反強磁性体と同じになることを意味する。これはまた、共役運動量は臨界点では遅い変数でなくなることを意味し、従来の動的 universality class の分類法は臨界点近傍のみで成り立つものとして理解することができる。また、固体の構造相転移における音波モードは臨界点で過減衰になることが実験的に知られているが、我々の解析はこの現象に対する説明を与えるものである。