

大学院集中講義

講義名：物理学特別講義I

講師：山本 直希（慶應義塾大学・教授）

タイトル： 幾何学的輸送現象：フェルミオンのカイラル輸送から光・重力波のスピンホール効果まで

日時・場所：

10月7日（水） 2、4限 8号館307室

10月9日（金） 2、3、4、5限 8号館307室

10月14日（水） 2、4限 8号館307室

（10月14日の4限はセミナーです）



授業番号：物理学特別講義I 博士前期：R0203、博士後期：R0204

履修URL：<https://forms.cloud.microsoft/r/TsdKy4jZwa>

履修申請締め切り：2026年9月30日

問い合わせ先：物理学専攻 本橋隼人 E-mail: motohashi@tmu.ac.jp

講義要旨：

相対論的フェルミオンでは、カイラリティに伴う運動量空間の幾何学的・トポロジカルな構造、特にベリー曲率に起因して、通常とは異なるカイラル輸送現象が生じる。これらの輸送現象は、場の量子論における量子異常（カイラルアノマリー）と密接に関係しており、ワイル半金属などのトポロジカル物質、相対論的重イオン衝突で生成されるクォーク・グルーオン・プラズマ、初期宇宙の電弱プラズマ、超新星におけるニュートリノ物質など、さまざまな系で現れると考えられている。

本講義では、まずカイラルアノマリーと代表的なカイラル輸送現象について概説した後、それらを記述する低エネルギー有効理論であるカイラル流体力学とカイラル運動論を解説する。次に、運動量空間のベリー曲率に由来する輸送現象がフェルミオンに限らず、光や重力波にも現れることを示し、それらをヘリシティに依存するスピンホール効果として統一的に理解する。さらに、運動量空間の量子幾何を特徴づけるもう一つの基本的な量である量子計量に着目し、量子計量に由来する非線形ホール効果について議論する。

内容：

第1回 カイラルアノマリー

第2回 カイラル輸送現象

第3回 カイラル流体力学

第4回 ベリー曲率と量子計量

第5回 カイラル運動論

第6回 光・重力波のスピンホール効果

第7回 光の非線形ホール効果導入：核力、対称性、エンタングルメント

第8回 セミナー：弱い力のパリティの破れと超新星・中性子星の物理

セミナー題目：弱い力のパリティの破れと超新星・中性子星の物理

要旨：重力崩壊型超新星は、大質量星がその進化の最終段階で重力崩壊を起こし、中性子星が形成される過程に伴う爆発現象である。重力崩壊によって解放されるエネルギーの大部分はニュートリノによって運び出されるため、ニュートリノと、核子や電子からなる物質との間のエネルギー・運動量の輸送が、超新星の時間発展を理解する上で重要な役割を果たす。しかし、従来のニュートリノ輸送理論では、パリティの破れという弱い相互作用の基本的性質が考慮されておらず、系の対称性に基づく低エネルギー有効理論として正しくない。本講演では、パリティの破れを取り入れたニュートリノ輸送理論と、その超新星の時間発展、マグネターの磁場の起源、およびパルサーキックへの応用について議論する。