



東邦大学

2024 年度

東邦大学理学部物理学科

卒業論文予稿集

卒業論文発表会

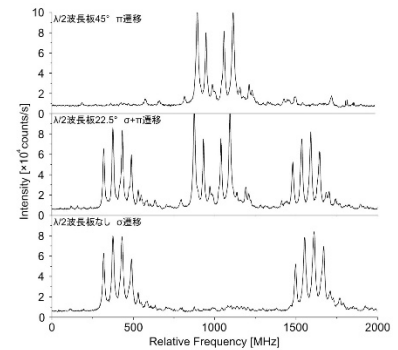
2025 年 2 月 12 日（水）・13 日（木）

## 量子エレクトロニクス教室

1 Ba 原子の  $6s5d\ ^1D_2 - 5d6p\ ^1D_2$  遷移におけるゼーマン効果

田澤 桓人

本実験では、原子のパリティ非保存研究に向けて Ba 原子のゼーマン効果の研究を行った。高分解能原子線レーザー分光法により、Ba 原子の許容遷移  $6s5d\ ^1D_2 - 5d6p\ ^1D_2$  (856.0 nm) の高分解能分光実験を行った。強さ 150 G、250 G、450 G の磁場をかけ、ゼーマンスペクトルと磁場の強さとの関係を確認した。また、レーザーの偏光方向を調整し、スペクトルを  $\pi$  遷移や  $\sigma$  遷移に分けて詳細に測定した。偶同位体  $^{138}\text{Ba}$  と  $^{136}\text{Ba}$  を用いてゼーマンスペクトルを解析し、 $5d6p\ ^1D_2$  準位の  $g_J$  因子を 0.9080(38) と決定した。

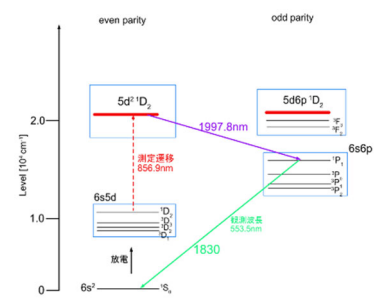


図：測定されたゼーマンスペクトル

2 Ba 原子の  $6s5d\ ^1D_2 - 5d^2\ ^1D_2$  禁止遷移におけるシュタルク誘起 mixing 比の測定

藤沢 剣

本実験では、原子線と外部共振器型半導体レーザーを用いて外部電場を印加することによって、Ba 原子の  $6s5d\ ^1D_2 - 5d^2\ ^1D_2$  禁止遷移の観測を行った。シュタルク誘起 mixing によるスペクトルを観測し、スペクトルと電場の強さとの関係を調べた。 $^{138}\text{Ba}$ ,  $^{136}\text{Ba}$  のピーク面積、半値全幅を測定することによりスペクトル強度に関するデータを得た。また、許容遷移  $6s5d\ ^1D_2 - 5d6p\ ^1D_2$  のスペクトルを観測し、禁止遷移の測定と合わせて禁止遷移のシュタルク誘起 mixing の比を求めた。

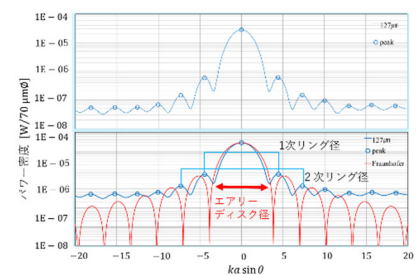


図：Ba 原子のエネルギー準位と遷移

## 3 ガラスキャピラリーによるレーザーマイクロビームのフラウンホーファー回折様パターンの測定

内田 佳那

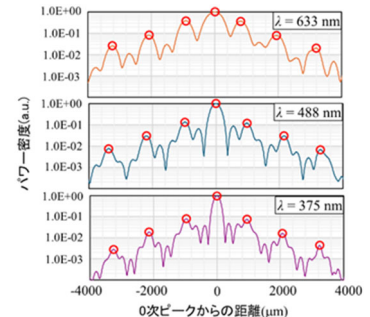
東邦大学ではテーパー型ガラスキャピラリーによるマイクロビーム照射法を開発している。本研究では、レーザースポットの最小化のために 0 次リング近傍に発生する細かいリングに着目した。そのために、ガラスキャピラリー（出口径 91~185  $\mu\text{m}$ ）に波長 375 nm のレーザー光を通過させてマイクロビームを生成し、その強度分布の測定と解析を行った。その結果、細かいリングはフラウンホーファー回折モデルとは一致しなかったため、キャピラリー特有の性質であることが明らかになった。また、0 次リング径の大きさは出口径によって変化することが分かった。

図：出口径 127  $\mu\text{m}$  での測定結果とフラウンホーファー回折の比較

#### 4 ガラスキャピラリーによるレーザーマイクロビームのスポット構造の精密測定

小島 幸子

ガラスキャピラリー光学系によるレーザーマイクロビームのスポット構造には小さな明るい中心領域の他に明線リング系列が生じることが分かっている。本研究では、明線リング系列に着目し、生成メカニズムを明らかにすることを目的として出口径や波長との関連を調べた。その結果、波長や出口径によってレーザースポットのパワー密度分布が変化し、リング径は出口径が大きくなるとともに大きくなり、波長には依らない結果となった。また、ピーク強度比は出口径と波長が大きくなると小さくなる傾向が見られた。



図：出口径 67  $\mu\text{m}$  のときのパワー密度分布

#### 5 MicroSurgery に向けた極小照射野に対する線質評価

関井 海

優れた線量集中性を持つ炭素線を用い、極小照射野を精緻に形成するマイクロサージェリー技術が検討されている。本研究の目的は、マイクロサージェリー技術実現に向け、未だ基礎治療ビームデータの不足している極小照射野での線質評価方法を確立するものである。本研究ではコリメータを用いて極小照射野を形成し、ダイヤモンド検出器を用いた線質評価の可能性を調べた。また、測定データを用いてモンカルロ計算ツール PHITS の精度検証を行い、PHITS による線質評価の可能性を評価した。結果として極小照射野における線質データをダイヤモンド検出器によって取得することができ、線質評価の可能性を示した。また、PHITS によって線質評価を行った。

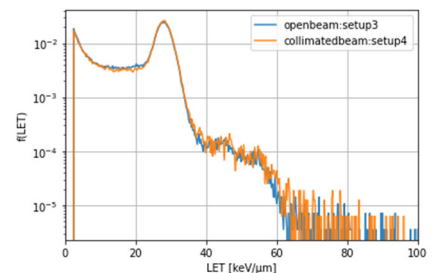


図:取得したエネルギースペクトル

#### 6 高速制御が可能なファイバコムの開発

田中 大喜

近年、繰り返し周波数  $f_{\text{rep}}$  が異なる 2 台の光コムを用いるデュアルコム分光法が広帯域、高精度かつ高速での分光測定が可能なことから注目を集めている。本研究では、さらなる高速化を目指し、高い  $f_{\text{rep}}$  を有する電気光学変調器(EOM)コムと組み合わせるための、高速制御が可能なファイバコムの開発を行った。具体的には共振器長の高速制御のためにモード同期 Er ファイバレーザーの共振器内に電気光学変調器 EOM を組み込んだ。さらに、レーザーの出力に対して Er 添加光増幅器を作成し高非線形ファイバを用いて広帯域光コムの発生を行った。発生した広帯域光コムに対し 1f-2f 干渉計を用いて  $f_{\text{ceo}}$  ビート信号の S/N 比 30 dB 程度での検出を実現した (Fig. 1)。

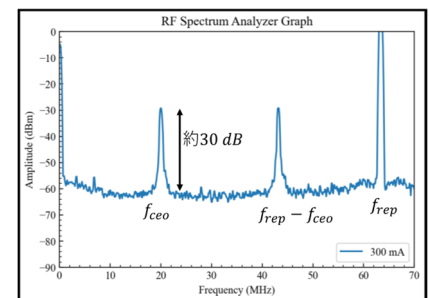


Fig. 1  $f_{\text{ceo}}$  ビート信号

## 7 自己相関計の開発

宮澤 俊

光周波数コムは、周波数領域において楕状の周波数成分が等間隔に並ぶ高精度レーザーである。時間領域では、光周波数コムは周期的な光パルス列として表され、その時間幅はフェムト秒 (fs) からピコ秒 (ps) の超短光パルスに相当する。そのため、時間幅を正確に評価することが光周波数コムの性能評価において重要になる。しかし、fs~ps の時間応答を持つ受光器は存在しないため、直接計測は困難である。そこで本研究では、自己相関 (autocorrelation) 法を基にした自己相関計を開発した。システム制御には Python を使い、自動ステージの動作制御とトリガ信号の出力を行った。また、2つのパルスが重なった部分で二光子吸収を発生し、その信号を検出することで自己相関信号を取得した。その結果、ps パルスの時間幅を正確に測定することに成功した。

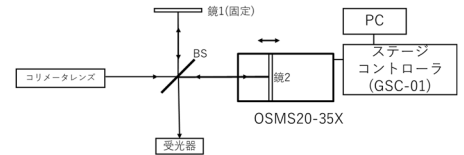
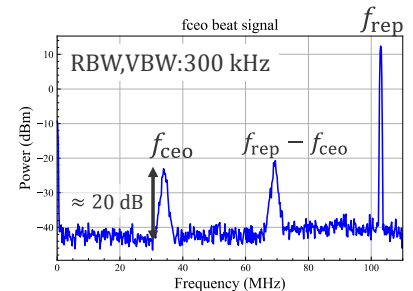


図 自己相関計の構成図。

## 8 SESAM ファイバレーザを用いた $f_{\text{ceo}}$ 検出と評価

宮崎 俊行

デュアルコム分光法は、短いデータの取得時間・高分解能・広帯域な分光計測が可能であるため、近年注目を集めている。本研究室では、デュアルコム分光法の実用化を目指して、小型かつ単純な構成をした 2 台の光周波数コムを密接に配置することで相対周波数安定性を高くした機構共有デュアルコムファイバレーザを開発している。本研究では、さらなる応用展開を見据え、機構共有デュアルコムファイバレーザの光スペクトルの広帯域化および $f_{\text{ceo}}$ の検出を行った。その結果、測定分解能 (RBW) における信号対雑音比 (S/N) は 20 dB 程度、MHz オーダーの線幅を持つ $f_{\text{ceo}}$ ビート信号を取得した。

図 検出した $f_{\text{ceo}}$ ビート信号

## 9 デュアルコムファイバレーザ-THz-TDS システムの開発

高星 拓海

テラヘルツ (THz) 波は、電波と光の両方の特徴を有しており、物体の性質を測定するための光源として注目されている。しかし、従来の THz 波の発生・検出は、移動ステージを用いるため、測定時間と分解能の間にトレードオフの関係があった。この課題を解決するために本研究では、デュアルコム分光法を基にした THz 波の時間領域分光 (THz-TDS) システムを開発した。光源として機構共有型デュアルコムファイバレーザを用いることで、高速かつ高分解能での分光測定が可能な THz-TDS システムを、簡便な構成で実現した。開発したシステムにより、高抵抗 Si プレートの厚み測定を行った結果、厚みを $2.953 \pm 0.026 \text{ mm}$  の範囲内で決定できた。さらに、位相屈折率を $n = 3.42587 \pm 0.02279$ と決定できた。

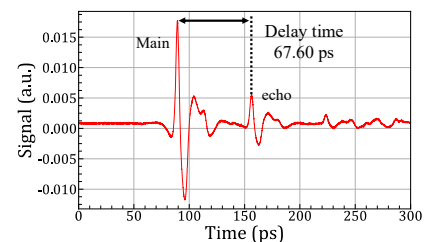


図 Si プレートを透過した THz パルスの時間波形

## 原子過程科学 教室

### 1 炭素分子正・負イオンが放つ再帰蛍光観測のためのレーザーアブレーションイオン源のイオン強度安定化・大強度化

氏名 岩本 佳奈

近年、宇宙空間のような孤立環境において、逆内部転換後に放出される再帰蛍光の存在ならびにそれに伴う急激な分子冷却が確認された。本冷却過程は宇宙空間での分子合成進化などに深く関連する事象として注目されている。現在、東邦大学 原子過程科学教室では炭素分子正負イオンを生成、イオン種を選択、レーザー励起し、内部エネルギーごとに再帰蛍光のスペクトル詳細測定を実現すべく、高効率で再帰蛍光を観測する新たな再帰蛍光観測装置の開発を進めている。本研究では、微弱な再帰蛍光の強度決定に不可欠となるイオン量の長期安定性向上、イオン収量増加を目指してイオン源の改良を実施し、長時間にわたり安定な大強度イオン生成を実現した。

### 2 凹面鏡を用いた再帰蛍光検出効率の向上

氏名 関 凜人

宇宙などの真空中における孤立分子の冷却過程として、近年に再帰蛍光放出過程の存在が確認された。再帰蛍光を観測するには孤立環境下に分子を長時間閉じ込めて蛍光を検出し続ける必要があり困難であったが、近年にイオンを長時間蓄積可能なイオントラップ技術の発展により、炭素分子正・負イオンなどを対象に再帰蛍光の直接観測研究が進められている。現在、東邦大学では透明電極を用いて炭素分子正・負イオンからの再帰蛍光観測が行われている。本研究では、微弱な再帰蛍光の検出効率向上を目指し、凹面鏡を用いた再帰蛍光の検出立体角向上を行った。実験装置の蛍光検出部を模したテストベンチで凹面鏡の効果を確認し、その後実際の観測装置内に凹面鏡を組み込むことで蛍光検出量の向上させることを試みた。

### 3 透明電極 RF イオントラップのための小型高周波高電圧回路制作

氏名 米山 佳祐

近年、孤立環境下における分子の冷却方法として、振動輻射や電子脱離の他に再帰蛍光という現象の存在が新たに確認された。再帰蛍光とは振動励起状態にある分子が電子励起状態へと逆内部転換した後に放出される蛍光であり、蛍光放出により分子の輻射冷却が急激に進行する。この新たな冷却過程は、星間空間における分子の合成進化理論にも大きな影響を与えうる。星間空間での再帰蛍光の存在を確かめるべく、東邦大学 原子過程科学研究室では、再帰蛍光の精密分光を目標とし、透明電極 RF イオントラップの開発を行っている。本研究では、イオントラップのイオンガイド電極に用いる共振回路の制作を行い、小型共振周波数の特性について調べた。

#### 4 散乱電子-イオン同時計測装置の改良

氏名 大澤 柊哉

本研究室では、さまざまな原子・分子について、散乱電子-生成イオン同時計測実験を行ってきた。散乱電子と生成イオンを同時に測定すると、イオン化連続状態に埋もれた超励起状態の情報をあぶりだすことができる。本研究では、LabVIEW と DAQ デバイスを用いて昨年開発された MCS システムの性能評価と測定時間の短縮を目的とした。実験では、ヘリウム、水素、メタン分子を対象に電子損失エネルギー分光法を行い、それぞれの特性をもつ電子損失エネルギースペクトルを得ることができた。また、測定時間については、電子銃のアライメントを整えかつ出口アパーチャーを1段にすることで、エネルギースペクトル分解能等を維持したまま約 1/10 に短縮できた。

#### 5 イオン移動度分析におけるピークシフト量の環境依存性

氏名 近藤 未来斗

イオン移動度分析は IMS と呼ばれ、大気圧下で測定できるリアルタイム化学物質分析手法の1つとして注目されている。イオン移動度は化学物質によって異なるため、その有無で IMS ピークも異なる。最近、労働衛生の立場から、IMS のピークシフト量を高濃度化学物質濃度測定の指標に用いる方法が労働安全衛生総合研究所で開発された。しかし、この方法は周囲環境の温湿度等に影響されることが懸念される。そこで本研究では、IMS のピークシフト量の環境依存性を調べるために、温度によるその変動量を測定した。その結果、ピークシフト量は温度上昇に伴い、わずかながらも減少していくことがわかった。

#### 6 直交型イオン付着飛行時間分析装置による呼気分析の検証

氏名 平山 遥都

本研究室では、未知の気相試料を対象とした質量分析装置の開発を行っており、それをヒトの呼気を分析する装置に応用することを目指している。これまでに、バックグラウンドの低減やアダクトイオンの検出感度の向上、測定時間の短縮にも成功している。本研究では、実際にヒトの呼気分析を行い、呼気中成分の定性分析および定量分析の検証をすることを目的とし研究を行った。実験では、先行研究ではほとんど言及されていない結果、すなわちアダクトイオンである  $(N_2)Li^+$  を経由し、 $Li^+$  が他の試料分子に付着する移行付着が確認された。これは、 $(N_2)Li^+$  を測定の規格化標準として使用する方法では定量分析できないことを示すが、定性分析は可能であることが検証された。

## 素粒子物理学教室

### 1 超微粒子原子核乾板における増感剤を用いた陽子線がん治療のための放射線感度向上の評価

酒井 悠行

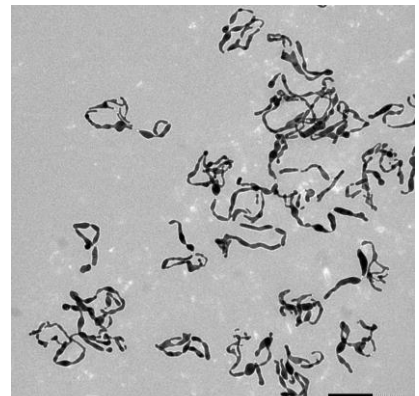
図等  
(自由に)

現在放射線治療の一種として、水素の原子核である陽子を加速してがんにつけることで、がん細胞を死滅させる陽子線治療というものが行われており、治療の際に放射線が人間の体内の物質と相互作用し、そこで生まれる二次粒子が二次被ばくの原因の一つとなっている。超微粒子原子核乾板NITを用いて陽子線による二次反応を精密に評価する実験が行われているが、反応の元となる一次陽子線はエネルギー損失が低くNITでの直接検出は現状難しい。そこで、本研究ではNITによる陽子線の二次反応の評価の際に現標準的に使われている亜硫酸ナトリウムを用いたHA増感を、トリエタノールアミンを用いたTEA増感に変更することで、一次陽子線の直接の検出の可能性について検討した。

### 2 透過電子顕微鏡における直接的な原子核乾板の観察

中川 洋樹

NIT(Nano Imaging Tracker)とは、方向感度を持った暗黒物質探索実験において、暗黒物質による反跳原子核飛跡を記録するために開発された超微粒子原子核乾板のことである。本実験では、透過型電子顕微鏡(TEM)を用いて結晶にどれだけの潜像核が形成されているのかを観察し、 $\alpha$ 線やイオン、電子、光などの種類によって潜像核の形成状態に違いがあるのかを検証した。また、TEMでは、観察対象に電子線を当て、透過してくる電子線を結像し観察を行うが、この観察原理上、観察対象をマイクロームを用いて非常に薄い切片にする必要がある。しかしながら、原子核乾板を切り出す際に乳剤が剥がれてしまい結晶を観察することが難しかった。ゆえに、本実験ではマイクロームを用いずに直接グリッドに乳剤を塗布して現像し観測した。



光を当てた NIT の TEM 画像

### 3 超微粒子原子核乾板における溶解物理現像法による低速イオン飛跡の光輝度イメージング法の開発

森山 祐一

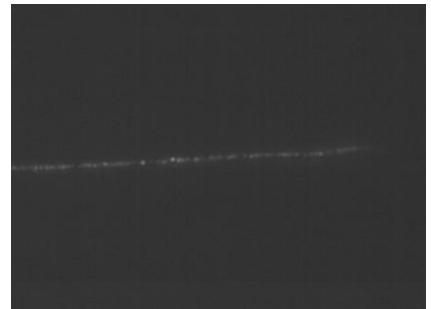
図等  
(自由に)

弱相互作用質量粒子(WIMPs)の探索において、より飛跡の短い低エネルギーの信号を検出することが重要である。結晶サイズを70nmから40nmに変えることによって、結晶密度を高くし、陽子が貫通するグレイン数を増やすことが、高分解能化の一つの方法である。しかし、40nmに変えることによって光学輝度や結晶感度が落ちてしまう問題が挙げられる。そこで、現在70nmNITで行われているReversal現像液を40nmで用いることで、輝度を高められると期待できる。本論文では70nmNITと40nmNITに対して炭素イオンの照射を行い、MAA現像液とReversal現像液の比較を行った。

#### 4 超微粒子原子核乾板内の飛跡の前後関係による入射方向検出

里村 悠輔

ダークマターが超微粒子原子核乾板 (NIT) 内の原子核と衝突すると、その飛跡が残るが、低いエネルギーの場合飛跡が短くなり、前後方向まで分からない。そこでまず荷電粒子の前後方向が分かる飛跡を用いて、そこから前後方向検出する事を目的とする。エネルギーを持った荷電粒子が NIT 内に入ると電離損失によりエネルギーが失われていき、電離した電子と NIT 内の銀イオンが反応し銀ができ、それが最終的に飛跡となる。本研究では既知のエネルギーを持った入射荷電粒子の飛跡の平均飛程、電離損失が求まるのでそこから得られる情報と飛跡から得られる情報をパラメータ化し、相関関係があるか調べた。



He 600 MeV の飛跡

#### 5 原子核乾板を用いた運動量測定における位置・角度決定精度の測定

田中 丈翔

Emulsion Cloud Chamber (ECC) は原子核乾板を使った検出器であり、ニュートリノの反応によって生成された娘粒子の振る舞いから、親となったニュートリノの識別や運動量測定をすることができる。運動量の測定には位置差や角度差を用いるため、より高い位置・角度測定精度が求められる。本研究では、原子核乾板のベースの素材にポリスチレンとガラスを使い、素材ごとの位置・角度決定精度の比較を行った。結果として、ガラスを用いた乾板の方がより高い位置・角度測定精度が得られると確認できた。

図等  
(自由に)

#### 6 コンパクトエマルシヨンスペクトロメータの解析手法の再現性と最適化

関川 拓斗

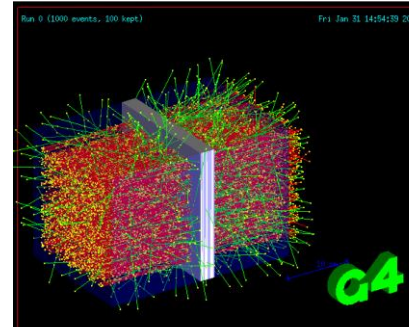
SHiP 実験では、ビームダンプ法を用いてタウニュートリノの直接観測を行う。Compact Emulsion Spectrometer (CES) は磁場中において荷電粒子の電荷と運動量を測定することができる検出器であり、タウニュートリノと反タウニュートリノの識別を目的としている。本研究では、磁場をかけない状態で宇宙線を照射し、乾板の位置関係補正について研究し、解析手法の再現性と最適化の確認を行った。解析の結果、伸縮効果はおおよそ1であることが推定され、伸縮効果を1とした場合では最適化が確認された。

図等  
(自由に)

## 7 多重電磁散乱のシミュレーションを用いた運動量測定精度向上のための研究開発

大林 顕治

Scattering and Neutrino Detector (SND) 実験への応用を目指し、ニュートリノ反応で生成された娘粒子の運動量測定のため、Emulsion Cloud Chamber (ECC) の開発を行った。先行研究では宇宙線照射実験を行い Compact Emulsion Spectrometer (CES)、ECC の性能評価が行われてきた。しかし、これらの検出器についての理想的な場合でのシミュレーションについてはまだ行われていない。本研究では、Geant4 を用いて CES, ECC のシミュレーションを作成し、実験との比較から多重電磁散乱の影響の評価を行った。金属の放射長の違いによる運動量測定向上が示唆されたことから、ECC での高エネルギー領域 (100GeV 以上) での運動量測定精度の向上を目指している。



ECC に 1000 本のミュオン粒子を入射

## 宇宙物理学教室

### 1 インフレーションにおける揺らぎの生成

佐藤 希

電磁波で知ることのできる最古の宇宙の姿を示す宇宙マイクロ波背景放射(CMB)では  $\delta T/T \sim 10^{-5}$  の温度揺らぎが観測されている。この揺らぎは初期宇宙に起こったインフレーションを駆動するインフラトン場  $\phi$  の量子揺らぎにより生成されたと考えられており、初期宇宙の情報を有する。そこで、本研究では揺らぎから初期宇宙のふるまいを知ることを目的としてインフレーション宇宙における揺らぎの生成機構について調べ、そのパワースペクトルを理論的に導出した。その結果、パワースペクトルはインフラトンのポテンシャル  $V(\phi)$  に依存し、 $V(\phi) = \frac{1}{2}m^2\phi^2$  モデルが観測と誤差の範囲で整合することがわかった。

### 2 Schwarzschild ブラックホールの準固有振動

北 啓矢

既存の重力理論である一般相対論は弱重力場では正しいが、強重力場ではその正しさについて検証が必要である。ブラックホール (BH) が作り出す強重力場の物理の解析は、一般相対論の検証や新たな重力理論の構築にとって有益なものである。その検証方法の一つに、BH の準固有振動に伴って放射されるリングダウン重力波の観測がある。そこで本研究では、リングダウン重力波の理論解析の第一歩として、Schwarzschild BH からのリングダウン重力波を 1 次の摂動で扱い、リングダウン重力波のマスター方程式を導いた。さらに、級数展開法に加えて連分数法 (Leaver の方法) を用いることでマスター方程式を解き、準固有振動数を求めた。

### 3 重力マイクロレンズ効果の数値的解法

石名坂 力基

重力マイクロレンズ効果は、背景天体と観測者の間を惑星などの別の天体が通過するとき、背景天体が急激に増光する現象をいい、太陽系外惑星探査などの強力な手段として用いられている。しかし、レンズ天体が複数ある場合、重力レンズ方程式から像の位置や増光率を求めることは一般には難しい。そこで本研究では、観測者からソース面までの光の経路を逆に辿り、像に対する光源の座標を数値的に求めた。そのデータテーブルから、臨界曲線やコースティクス、増光率などを得ることができる。この方法によって、任意の数のレンズ天体による増光曲線を予測できると期待される。

#### 4 重力レンズ効果を用いたハッブル定数の推定

菅原 啓孝

ハッブル定数は宇宙の膨張に関する重要なパラメータである。代表的なハッブル定数の測定法には距離はしごや宇宙マイクロ波背景放射を用いる方法があるが、近年の精度の向上により、これらの方法で求められたパラメータの間にはそれぞれの測定誤差を超える大きな差が生じていることが報告されている。そこで本研究では、それらの方法と独立した重力レンズを利用した測定法を用いる。レンズモデルとして特異等温球を選び、推定を行った。結果は前述の2つの方法に近い値が得られたが、誤差が大きくなった。さらに精度を向上させるには、個々のデータに合わせたレンズモデルの選択が必要であると考えられる。

#### 5 銀河団衝突の解析に向けた重力多体計算コードの検証

段木 勇樹

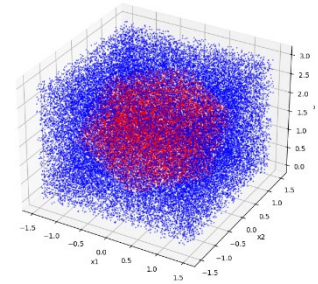
銀河団衝突に関する大規模数値シミュレーションの準備として、本研究では重力多体計算コードの検証を行った。まず、2体問題を数値的に解いた結果、粒子の軌道が精度良く計算されることが分かった。次に、初期状態として力学平衡にある粒子群を与えたところ、ビリアル定理は満たされるが、密度分布が時間変化してしまうので、原因を調査中である。さらに、初期に力学平衡にある粒子群を2つ用意して衝突させたところ、束縛状態にある粒子がビリアル定理を満たしつつ、ほぼ定常な密度分布に近づくことが分かった。

## 物性理論教室

## 1 多層パーセプトロンを用いた空間領域の識別問題に対する研究

橋口輝久

本研究では、多層パーセプトロン (MLP) を用いた分類問題について調べた。特に、線形分離不可能な分類問題について、多層パーセプトロンを持ちこすることで分類が可能となることを示した。さらに、3次元空間における空間分類問題について、MLP を用いた解析を行った。

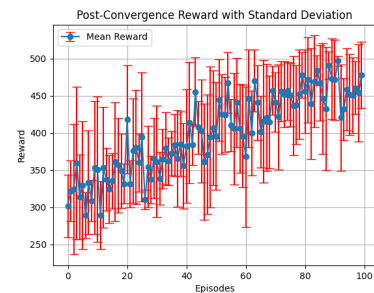


3次元空間における分類

## 2 深層強化学習による倒立振子の制御

高橋慈英

深層強化学習は、ニューラルネットワークの高い表現力と強化学習の探索能力を組み合わせることで、複雑な制御問題や高次元タスクの解決に期待されている。本研究では、深層強化学習を用いて倒立振子 (CartPole) の制御を行い、浅いニューラルネットワークと深層 Q 学習 (Deep Q-Network, DQN) の性能を比較した。実験の結果、DQN は浅いネットワークよりも収束が早く、高速かつ効率的に学習できることが確認された。一方、学習の安定性では浅いネットワークが優れる場合もあり、深層強化学習の性能向上にはさらなる検討が必要であることが示された。

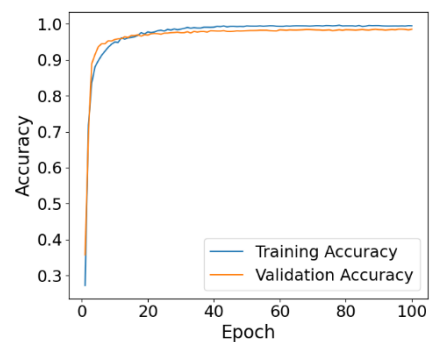


強化学習中の報酬と時間の関係

## 3 畳み込みニューラルネットワークを用いた音声識別

平井真翔

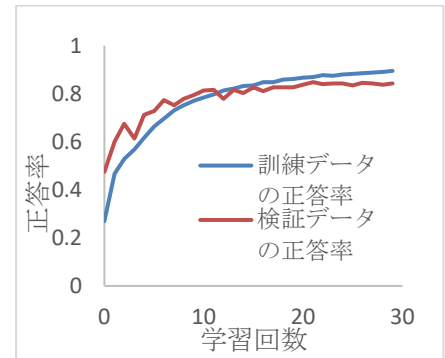
本研究では、畳み込みニューラルネットワークを用いて、鳥類の鳴き声を識別する音声識別モデルを構築した。単一の鳴き声だけでなく、複数の鳴き声が同時に含まれる複雑な音声データの識別も行った。その結果、モデルの構造や学習率、ドロップアウト率などの調整が識別精度を向上させるために重要であることが分かった。また、学習データの質や量を改善することも識別精度の向上につながった。さらに、苦手な識別項目に対しては、損失関数に値を追加して、その項目の重要度を上げることで、複雑な音声データでも高精度に識別できることが分かった。



#### 4 層数の異なる畳み込みニューラルネットワークを用いた画像認識の研究

宇根日向子

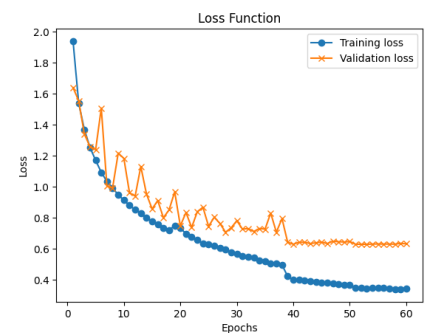
本研究では畳み込みニューラルネットワーク (CNN) を用いた機械学習による画像認識を行う。画像データとして、CIFAR-10 というデータを用いて CNN を構築した際のデータの正答率を求める。特に、中間層の数の違いによって正答率や最高正答率に至るまでの学習回数異なることを示した。17 層の CNN を用いた学習では、ドロップアウト率、フィルター数、フィルターサイズ、全結合層のニューロン数が正答率に与える影響や、最適なパラメータの探索を行う。



#### 5 畳み込みニューラルネットワークを用いた深層学習による画像認識の研究

熊木勇真

本研究では、畳み込みニューラルネットワークを用いた画像認識を CIFAR10 と呼ばれるデータセットに対して行い、ハイパーパラメータや層の構造を変更することで、モデルの精度や画像の認識率にどのような影響を及ぼすのかを損失関数や認識率のグラフの変化を見ることで調べ、その結果からより精度の高いモデルの作成に取り組んだ。その結果、Dropout 層の割合は 0.50 の時に過学習の発生を抑えること、学習率が 0.01 ほどであれば Dropout 層との相性はよくなること、畳み込み層を増やすことがより複雑な特徴を抽出することがわかった。

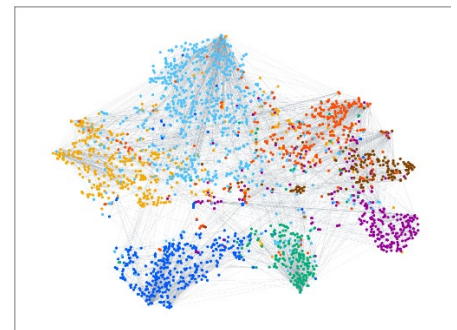


#### 6 頂点分類問題におけるグラフニューラルネットワークの性能比較

日暮悠人

インターネット上ページのリンク関係や SNS 上でのフォロー関係のようなネットワークや、分子構造や画像まで、様々なものはグラフで表現される。そういった構造を表したグラフに対してニューラルネットワークによる機械学習を適用することで、グラフの接続予測や、頂点の分類、グラフの分類等の多くのタスクを実行することができる。

本研究では、頂点分類問題に対して、グラフ畳み込みネットワークとグラフ注意ネットワークの性能の比較を行った。

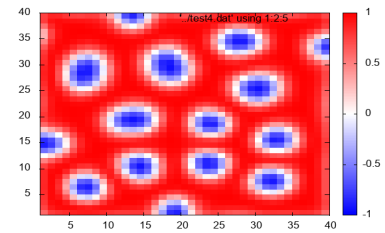


グラフニューラルネットワーク

## 7 磁気スカーミオン構造の熱安定性に関する数値的研究

古川大智

磁気スカーミオンは、ナノ磁性体が形成する磁化構造の一種で、渦状の構造をしており中心のスピンの向きと渦の外周に位置するスピンの向きは反平行を向き、外側から中心へ向かってスピンの向きが緩やかに方向を変えながら渦を形成する。スピン交換相互作用およびDM 交換相互作用に外部磁場 $B_z$ を印加させることによって、磁気スカーミオンが発現する。本研究では、磁気スカーミオンの熱安定性について、数値計算を用いて調べた。スピン交換相互作用、DM 相互作用を考慮した計算から得られた熱安定性に比べて磁気スカーミオン構造はより高い温度でも構造が保存されていることがわかった。



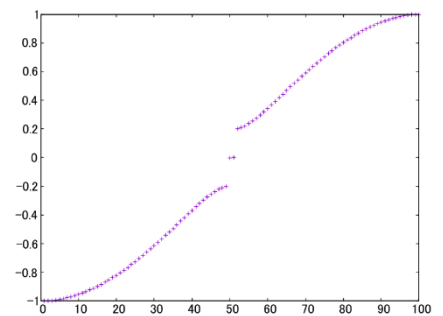
磁気スカーミオン構造

## 8 1次元 Su-Schrieffer-Hegger model を用いたエッジ状態の数値的研究

豊田陽生

構造の内部が絶縁体で表面が伝導体であるトポロジカル絶縁体は、バルクのトポロジカルナンバーと対応する表面状態によって特徴づけられている。本研究では、その性質を理解するために、1次元 Su-Schrieffer-Hegger model を用いて数値計算をすることでバルクのトポロジカルナンバーとエッジ状態について具体的に調べた。

まず、系のパラメータを調整することによって、エッジ状態がどのような条件下で現れるのか確認した。また、エッジ状態が存在するときと、そうでないときにおいて、トポロジカルナンバーを計算すると、エッジ状態が存在するときは、トポロジカルナンバーが非自明な値をとることを、そうでないときには 0 になることを確認した。



SSH 模型におけるエネルギー固有値と波数の関係

## 磁気物性学教室

1 フラットバンド構造を持つ 3 次元金属間化合物  $\text{La}_2\text{Ni}_7$  の単結晶育成

伊藤 翔

電子の運動エネルギー・運動量の関係において分散を生じないフラットバンドでは、運動エネルギーが抑制された結果、電子間相互作用が本質的な役割を果たし、様々な相関物性が現れる。本研究では、フラットバンドを持つ物質系の開発に向けて、カゴメ格子を含む積層構造をとり、密度汎関数法によるバンド計算からフェルミ準位近傍にフラットバンドを有すると期待されている三次元金属間化合物  $\text{La}_2\text{Ni}_7$  の単結晶育成を試みた。金属フラックス法の育成条件を改良しながら合成したが、いずれの場合も目的相以外の二元系合金が安定化されてしまったため、更なる合成条件の最適化が必要であることが分かった。

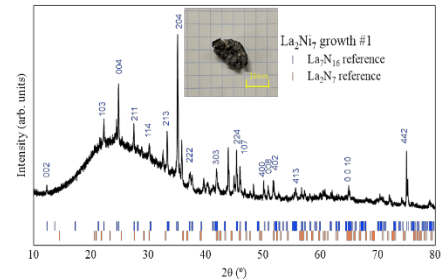


図. 合成した試料の粉末 X 線回折パターン (Inset: 得られた結晶の写真)

2 極性  $\text{LiGaGe}$  型反強磁性体  $\text{RAuSn}$  ( $R = \text{Nd}, \text{Ho}$ ) の単結晶育成

田口 はるか

空間反転対称性の破れた極性  $\text{LiGaGe}$  型構造の金属間化合物では、複数種のディラック点及びワイル点が共存した電子構造をとることが知られており、これまでになく量子物性が発現することが期待されている。本研究では  $\text{LiGaGe}$  型化合物のなかでも、特に、磁化プラトーを伴う磁場誘起相転移を示すことが知られている  $\text{RAuSn}$  ( $R = \text{Nd}, \text{Ho}$ ) の単結晶育成を試みた。金属フラックス法により育成条件を改良しながら育成を行ったが  $\text{NdSb}_3$  や  $\text{Nd}_3\text{Au}_6\text{Sn}_5$  といった相が安定化されてしまい、目的物質の単結晶試料育成には更なる合成条件の改良が必要であることが分かった。

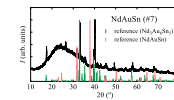


図. 合成した試料の X 線回折パターン (目的相 (ピンク) ではなく  $\text{Nd}_3\text{Au}_6\text{Sn}_5$  (緑) のピークが見られた)

3  $\text{HfCuSi}_2$  型希土類化合物  $\text{NdAgBi}_2$  の磁気輸送特性

戸村 太軌

正方格子を有する希土類化合物は、格子構造に固有の非自明な電子系のトポロジーと希土類イオンによる磁性を併せ持つ系として、新規量子物性が期待される系である。本研究では  $\text{Bi}$  正方格子と磁性希土類イオン  $\text{Nd}$  を有する  $\text{HfCuSi}_2$  型希土類反強磁性体  $\text{NdAgBi}_2$  について、金属フラックス法による単結晶試料育成と磁場下での磁化及び輸送特性の測定を行った。反強磁性転移温度以下において、約  $4\text{T}$  より高磁場中で、磁化及び電気抵抗率がともに磁場に対する線形な関係から逸脱する振舞が観測された。これは、磁場誘起相の磁気秩序が持つ強磁性成分により負の磁気抵抗効果が生じている為であると考えられる。

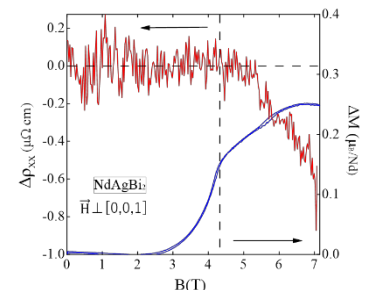


図.  $T = 2\text{K}$  での電気抵抗率及び磁化の非線形線分の磁場依存性

#### 4 磁場誘起相転移を示す反強磁性体 NdVSb<sub>3</sub> の磁気輸送特性

鈴木 泰地

希土類金属間化合物 NdVSb<sub>3</sub> は、僅かに歪んだ Sb 正方格子層と磁性及び電子相関を担う Nd-V-Sb 層が積層した層状物質であり、反強磁性相及び磁場誘起相で実現する複雑な磁気構造により、新規電子物性が発現する事が期待される。本研究では、単結晶育成と磁化及び輸送特性の測定を行い、反強磁性相において磁場印加に伴って生じる 1/2 磁化プラトー状態を介した強磁性秩序状態への転移において、電気抵抗率の急狭な増大を示す事を明らかにした。これは転移に伴うスピン散乱及び磁気ドメインの揺らぎの増大及び 1/2 磁化プラトー状態における磁気的ドメインの自由度によって電子が散乱されることによるものと考えられる。

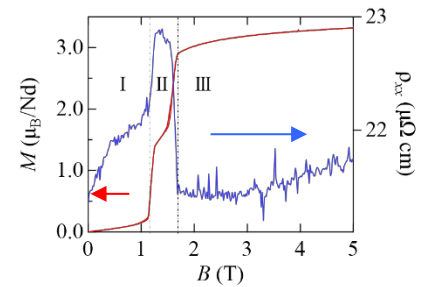
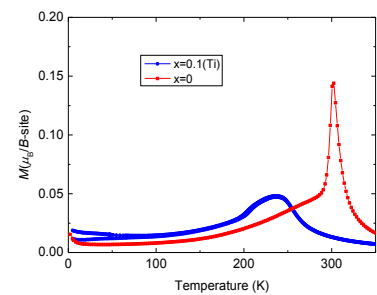


図.  $T = 2\text{K}$  での磁化  $M$  の及び電気抵抗率  $\rho_{xx}$  の磁場依存性

#### 5 NdBaMn<sub>2</sub>O<sub>6</sub> の Fe 置換効果

道野 海斗

ペロブスカイト酸化物  $\text{RBaMn}_2\text{O}_6$  ( $R$  は希土類) は室温以上で強磁性金属(FM)相と電荷・軌道秩序絶縁体(CO/OOI)相が存在しているため室温での超巨大磁気抵抗(CMR)効果が期待できる物質である。CMR 効果を発現させるためには、電子ドーピングなどにより FM 相を安定化させることが重要である。本研究では電子ドーピングの効果を期待して、Mn よりも電子数の一つ多い Fe で NdBaMn<sub>2</sub>O<sub>6</sub> の Mn サイトを化学置換し、それが磁性に与える効果を調べた。その結果、予想に反して Fe 置換により FM 相が抑制されることがわかった。これは、置換した Fe が +3 価で存在しているためであると考えられる。



NdBaMn<sub>2-x</sub>Fe<sub>x</sub>O<sub>6</sub> の磁化の温度依存性

#### 6 Ba 欠損が Sm<sub>1-x</sub>La<sub>x+y</sub>Ba<sub>1-y</sub>Mn<sub>2</sub>O<sub>6</sub> の磁気特性に与える効果

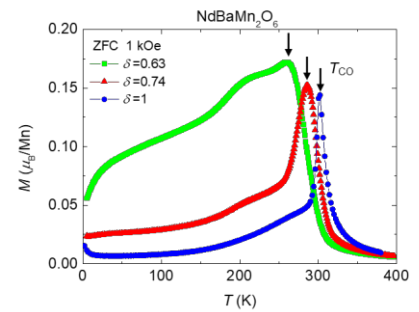
市原 明瑠

秩序型ペロブスカイト  $\text{Sm}_{1-x}\text{La}_{x+y}\text{Ba}_{1-y}\text{Mn}_2\text{O}_6$  は室温で超巨大磁気抵抗 (CMR) 効果の発現が報告されている。しかし、その磁気抵抗の変化は強磁場下かつブロードであるため実用化には至っていない。この原因は Ba サイトに La 置換 (電子ドーピング) を行ったことで、Ba 層に電荷の乱れが生じたためであると考えられる。本研究では、電荷の乱れを防ぐため、Ba 欠損をさせることで  $\text{Sm}_{1-x}\text{La}_{x+y}\text{Ba}_{1-y}\text{Mn}_2\text{O}_6$  に電子ドーピングを行った。その結果、Ba 欠損量が増加すると電荷・軌道秩序転移温度が低下した。これは Ba 欠損による電子ドーピング効果のためであると考えられる。

7 秩序型ペロブスカイト酸化物  $\text{NdBaMn}_2\text{O}_6$  の  $A$  サイト秩序度の制御

田丸 渉太

$A$  サイト秩序型  $\text{NdBaMn}_2\text{O}_6$  は室温付近で電荷・軌道秩序絶縁相、強磁性金属相が多重臨界点を形成している。本研究では中間生成物 ( $\text{NdBaMn}_2\text{O}_{6-\delta}$ ) の酸素欠損量  $\delta$  によって  $A$  サイト秩序度を制御し、秩序度の違いが臨界点付近の磁性に与える影響を調べた。その結果、中間生成物の  $\delta$  が小さくなると  $A$  サイト秩序度が低下し、強磁性転移温度、電荷・軌道秩序転移温度が下がっていくことがわかった。中間生成物の  $\delta$  が 0.63 では低温で強磁性的振る舞いが強く現れた。中間生成物の  $\delta$  が 0.5 以下では  $A$  サイト秩序型構造ができなかった。



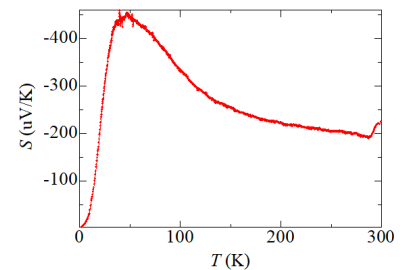
$A$  サイト秩序度の異なる  $\text{NdBaMn}_2\text{O}_6$  の磁化の温度依存性

## 物性物理学教室

1 擬2次元物質  $\text{Bi}_{13}\text{Pt}_3\text{I}_7$  の電気抵抗率とゼーベック係数の測定

仲野 温貴

$\text{Bi}_{13}\text{Pt}_3\text{I}_7$  はその結晶構造とバンド構造から擬2次元的な電子構造を持ち、類似した構造を持つ  $\text{Bi}_{14}\text{Rh}_3\text{I}_9$  の研究結果からも高い熱電性能指数を示すことが推測されるが、熱電変換特性に関する報告はこれまでにされていない。そこで本研究では  $\text{Bi}_{13}\text{Pt}_3\text{I}_7$  の電気抵抗率とゼーベック係数を測定し、熱電変換材料としての性能を調べた。その結果、抵抗は温度が上昇すると抵抗値は減少することがわかり、抵抗の磁場依存性からは正の磁気抵抗効果が観測された。さらに低温・高磁場下において、シュブニコフド・ハース振動が確認できた。その解析から振動は普通の電子に起因することが示された。ゼーベック係数は室温付近で約  $-180 \mu\text{V}/\text{K}$  となり、電力因子  $PF$  は  $\text{Bi}_{14}\text{Rh}_3\text{I}_9$  の値の6~7倍程度になることが測定結果として得られた。

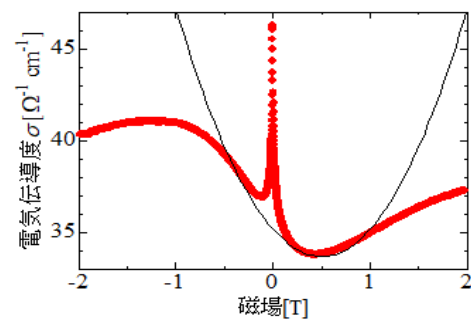


ゼーベック係数の温度依存性

## 2 3次元有機ディラック半金属における縦磁気抵抗効果

中道 咲菜

極低温・高圧下にある有機導体  $\alpha\text{-(BEDT-TTF)}_2\text{I}_3$  でカイラル対称性が破れた3次元ディラック半金属が実現していることが明らかになってきた。空間反転対称性は層間のホッピング効果により破れているが、時間反転対称性は電子相関効果により破れていることが理論的に指摘されている。本研究では電子相関効果を圧力で制御し、時間反転対称性の破れに伴う低温輸送現象を明らかにした。さらに、約  $1.6 \text{ K}$  で2次元ディラック半金属から3次元ディラック半金属へのトポロジカル相転移が起きることを見出した。

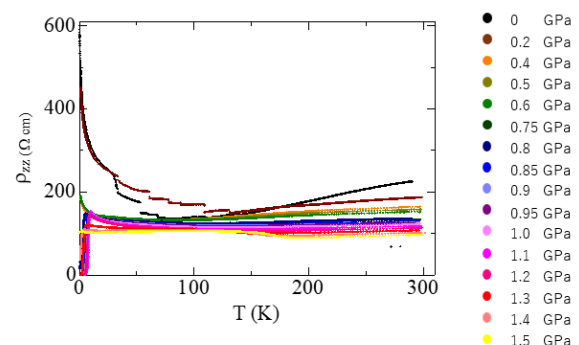


0.5 Kにおける縦磁気抵抗効果。低磁場域における伝導度は  $\sigma = \sigma_0 + cB^2 + \alpha_l B$  で表せる。 $cB^2$  は量子異常効果で、 $\alpha_l B$  は時間反転対称性の破れで現れる項である。

## 3 Chp-TTP 分子からなる新規有機導体の圧力下輸送特性

山口 俊輔

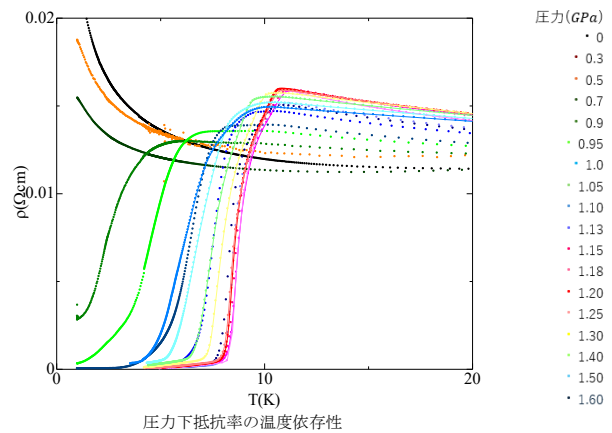
有機導体もつ特徴は、物質の多様性と多彩な物性の展開、電子系の強い低次元性、電子間のクーロン相互作用が電子系に大きな役割を担うことにある。特に、BEDT-TTF 分子系物質の開発により大いにこの特徴が展開されてきた。一方で、新規物理現象や新規機能性探索、さらには高い転移温度を持つ超伝導体開発には新しい分子を用いた物質開発が求められている。本研究では、愛媛大学で開発された Chp-TTP 分子からなる新規有機導体4種の圧力下輸送特性を調べた。その中の  $\kappa\text{-(Chp-TTP)}_2\text{AsF}_6$  は  $0.75 \text{ GPa}$  以上の圧力下で新規の超伝導現象を示すことを発見した。

 $\kappa\text{-(Chp-TTP)}_2\text{AsF}_6$  の電気抵抗の温度依存性

4 新規有機超伝導体  $\kappa$ -(CHP-TTP)ClO<sub>4</sub> における圧力下超伝導

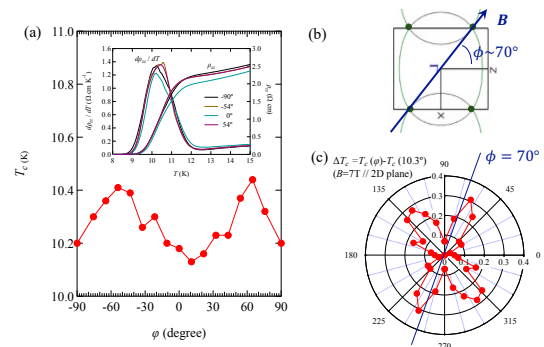
多田 駿生

2003年に $\beta$ -(BEDT-TTF)<sub>2</sub>ClO<sub>4</sub>の超高圧力下で転移温度  $T_c = 14.2\text{K}$  の超伝導現象が発見されて以来、有機超伝導体の中では現在もこの系が最高の  $T_c$  を保持している。さらに、これまで  $T_c$  が  $10\text{K}$  を超える有機超伝導体は数例のみで、2003年以降に $\beta$ -(BEDT-TTF)<sub>2</sub>ClO<sub>4</sub>以外で  $T_c$  が  $10\text{K}$  を超える有機超伝導体は見つかっていないのが現状である。本研究では、愛媛大学で新しく発見された  $\kappa$ -(CHP-TTP)<sub>2</sub>ClO<sub>4</sub> の電気伝導性の温度依存性を圧力下で調べ、オンセットでだが、 $T_c = 10.5\text{K}$  の超伝導現象を発見した。

5 分子性超伝導体 EtMe<sub>3</sub>P[Pd(dmit)<sub>2</sub>]<sub>2</sub> におけるモット転移と  $\kappa$ -(BEDT-TTF)<sub>2</sub>Cu[N(CN)<sub>2</sub>]Br の超伝導対称性

石川 安慈

バンド理論では金属であるべき物質が、強い電子相関によって実現した絶縁体をモット絶縁体という。このようなモット転移近傍では超伝導などの興味深い物性が実現するが、統一的な理解はまだなされていない。本研究では、分子性超伝導体 EtMe<sub>3</sub>P[Pd(dmit)<sub>2</sub>]<sub>2</sub> の圧力下で示すモット転移の秩序変数は何かという問題に取り組み、オール効果測定からこの系の主な秩序変数はキャリアの易動度であると結論した。さらに、モット転移近傍に現れる超伝導のギャップ対称性を  $\kappa$ -(BEDT-TTF)<sub>2</sub>Cu[N(CN)<sub>2</sub>]Br の層間横磁気抵抗の面内磁場角度依存性から調べ、この系は  $d$  波超伝導体であることを確認した。

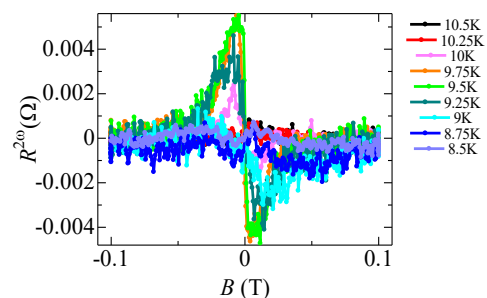


(a) 7T 磁場下における超伝導転移温度の面内角度依存性。(b) フェルミ面とノード位置。(c) (a)の結果のポーラープロット。

6 有機超伝導体  $\kappa$ -(BEDT-TTF)<sub>2</sub>Cu[N(CN)<sub>2</sub>]Cl における非相反伝導現象の磁場の角度依存性

仲佐 蓮

均一な結晶中で起こる整流現象であり、超伝導転移温度付近で巨大化する非相反伝導現象が有機超伝導体  $\kappa$ -(BEDT-TTF)<sub>2</sub>Cu[N(CN)<sub>2</sub>]Cl においても観測された。 $\kappa$ -(BEDT-TTF)<sub>2</sub>Cu[N(CN)<sub>2</sub>]Cl における非相反伝導現象はラシュバ効果によるもので、面内磁場がある場合にしか発生しないと考えられていたが、磁場の角度を変えて磁気抵抗の2倍の周波数成分を測定したところ、面直磁場であっても非相反伝導が確認され、その値が磁場の面直成分に影響を受けていることから、ラシュバ効果による非相反伝導に加え、別の原因による非相反伝導が発生していることがわかった。

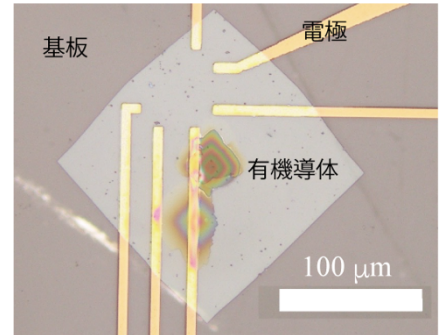


面直磁場での非相反抵抗

7 有機導体 $\kappa$ -(BEDT-TTF)<sub>2</sub> Cu[N(CN)<sub>2</sub>]Clのその場合成による電気二重層トランジスタの作製

穴澤 琴音

有機導体 $\kappa$ -(BEDT-TTF)<sub>2</sub> Cu[N(CN)<sub>2</sub>]Clは圧力をかけることで電子相関の強い絶縁体から超伝導体に転移することが知られている。最近、この物質を用いて電気二重層トランジスタを作製し、キャリア密度を変化させることでも超伝導を引き起こせることが明らかになった。しかし、分子レベルで平滑な試料の作製が必要であり、相転移を起こせる試料の歩留まりは数%程度に留まっていた。そこで本研究では、歩留まりの向上を目的として従来と異なる方法で試料を合成した。有機導体の電解合成の際に貧溶媒添加による再結晶を行い、結晶のその場合成を行ったところ、電気抵抗測定を行った4つの試料のうち2つで相転移を観測し、歩留まりの向上が確認できた。

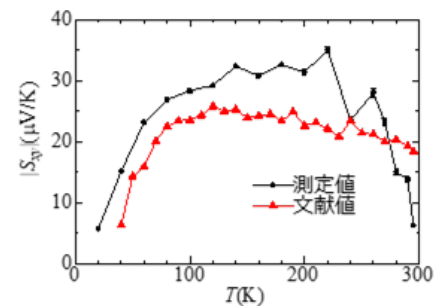


貧溶媒添加による再結晶で得られた有機導体の単結晶

8 有機導体 $\kappa$ -(BEDT-TTF)<sub>2</sub> Cu[N(CN)<sub>2</sub>]Cl の非対角熱電効果

大胡 勇貴

熱電効果は身の回りの生活排熱を電気として再利用できることから注目されている。しかし、温度勾配と同じ方向に電位差が発生する従来の熱電効果では熱電素子間で接触抵抗が発生する問題がある。この問題を解決できるのが温度勾配に対して直角に電位差が発生する非対角熱電効果であり、物質の構造に異方性があれば発生する。そこで、本研究では異方性のある有機導体として $\kappa$ -(BEDT-TTF)<sub>2</sub> Cu[N(CN)<sub>2</sub>]Clを用いて温度勾配を与えたところ、温度勾配とは垂直な向きに試料の長さに比例した熱起電力を観測した。この起電力はゼーベック係数との異方性に対応していることから非対角熱電効果が発生することを確認できた。



ゼーベック係数の非対角成分における測定値と文献値