



東邦大学

2021 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

2022 年2月 12 日（土）・14 日（月）

卒業論文発表会プログラム（講演9 分、質疑3 分）

※ 状況により時間変更の場合があります。

2022年 2月 12日（土）

開会	8:55 ～ 9:00
1. 素粒子物理学教室	9:00 ～ 10:12
2. 量子エレクトロニクス教室	10:20 ～ 12:44
----- 昼休み -----	
3. 宇宙物理学教室	13:30 ～ 15:30
4. 物性物理学教室	15:40 ～ 17:40

2022年 2月 14日（月）

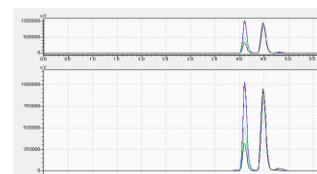
5. 物性理論教室	9:00 ～ 11:00
6. 磁気物性学教室	11:10 ～ 13:10
----- 昼休み -----	
7. 原子過程科学教室	15:50 ～ 17:38

素粒子物理学教室

1 ガンマ線による OH ラジカルのプライマリ収率測定

宮崎 晴吉

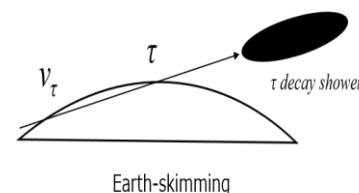
FLASH 放射線がん治療は従来の治療照射の線量率(0.03 Gy/s)に比べて 1000 倍以上(>40 Gy/s)の高い線量率で行うがん治療である。高線量率照射による正常組織の保護効果は動物や細胞を使った生物実験で確認されている一方、そのメカニズムは明らかになっていない。そこで本研究では、超高線量率照射のメカニズムを放射線化学的な視点から解明することを目的とし、水の放射線分解生成物の中で最も反応性の高い OH ラジカルに焦点を当て、蛍光法と着色法の二つの方法で OH ラジカルのプライマリ収率を測定した。



2 超高エネルギータウニュートリノ観測に向けた飛跡認識回路による大気蛍光トリガー論理の開発

山田 伶史

Ashra (全天高精度素粒子望遠鏡) 実験は、ニュートリノとガンマ線を同時に複合観測することを目的の一つとしている。Ashra はハワイのマウナロアを標的としたタウニュートリノ由来の空気シャワーによって発生する二次粒子が引き起こす大気チェレンコフ光と大気蛍光を観測するが、そのトリガーは DSP による信号認識回路と飛跡認識回路を用いた二段階トリガーを採用しており、PeV-EeV 領域における最高感度でのタウニュートリノとガンマ線の同時監視を実現可能にする。本研究では、大気蛍光観測に必要な飛跡認識回路の開発に向けた、タウ粒子由来の空気シャワーから想定される大気蛍光の信号強度をシミュレーションした。



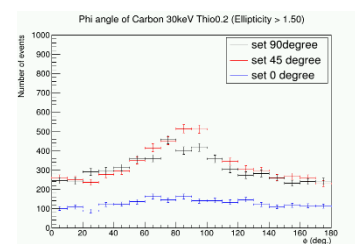
3 溶解物理現像法による低速炭素イオン方向検出性能の評価

陳 夏姫

NEWSdm 実験は超微粒子原子核乾板(NIT)を用いることで、さまざまな宇宙観測のデータから存在が示唆されている暗黒物質の直接探査を目指している実験である。NIT の観測可能エネルギーの閾値を下げることでより暗黒物質の探索感度が指数関数的に上昇する。

観察される NIT の光学情報は現像の作用が大きく関わっており、低エネルギー飛跡に対する角度情報を落とす原因の一つが現像された飛跡の光学輝度が不十分であったためであると考えられていた。

溶解物理現像法により飛跡の光学輝度を上昇させたことで平均飛程 100 nm の 30keV 炭素イオンの方向感度の検出することができた。



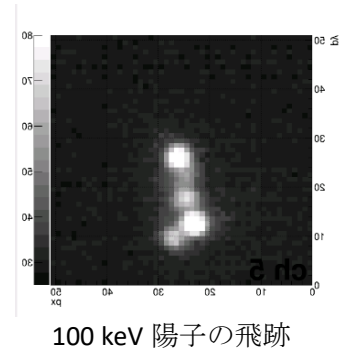
4 低質量ダークマター検出に向けた keV 領域の陽子飛跡検出及び低バックグラウンド化に向けたデバイスの検討

暗黒物質の正体を解明することは、現代物理学の最重要課題のひとつである。NEWSdm 実験は超微粒子原子核乾板 NIT を用いて暗黒物質の直接検出を目指している実験である。

現在、地下実験で得られた事象の中に起因が不明な飛跡が確認されており、飛跡の形状から 100 keV 程度の陽子による飛跡ではないかと推測された。イオン注入装置を用いて NIT に 100 keV の陽子を照射して同様の飛跡が得られるのか検証し、類似した飛跡を検出した。

また NIT 中の高純度ゼラチンに含まれている ^{14}C の β 崩壊によって発生した電子が背景事象となり飛跡検出の妨げになる事が考えられる為、その除去が課題である。AgBr(I) 結晶のサイズ変更により背景電子事象への感度が約半分に低下することを示した。

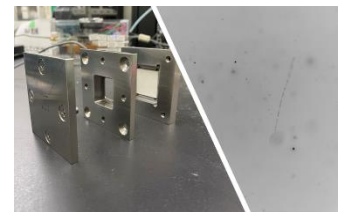
ダウディ 由莉香



5 原子核乾板を用いた AmBe 線由来の中性子測定

電磁気的な相互作用を持たないとされているダークマターを検出するのに用いられている手段の一つに、ダークマターによって運動量をもらい受けた原子核を検出するという方法がある。この現象を利用した検出器の性能評価及び校正を行う際、電氣的に中性であるという共通点から中性子を照射し、検出器内部で発生してしまった、本来期待されていない事象を調べる必要がある。しかし、中性子の照射には、外部の研究施設に頼る都合上、実験回数少なさ、実験コストの問題が存在する。本研究では安価で試行回数を増やすことのできる中性子線源である AmBe 線源を作成。この中性子線源から発生する中性子量の評価を行った。

田中 希宙

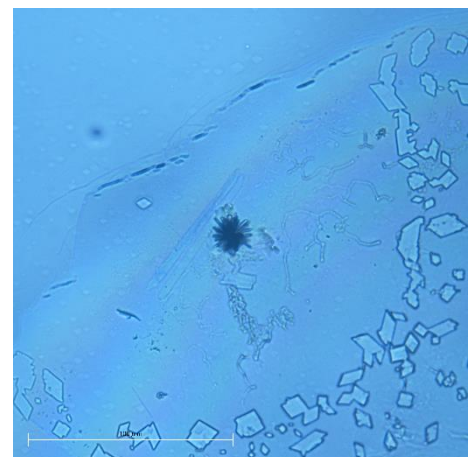


6 Lindhard 領域のエネルギー損失過程における白雲母の粒子飛跡検出に関する研究

ダークマターサーチやモノポールサーチを鉱物で行うことが近年提案されている。これら粒子の想定される速度は Lindhard 領域のものであるが、この領域での入射粒子と鉱物の応答には未解明な部分も多い。

そこで本研究では白雲母にイオン注入装置を用いていくつかのエネルギーの Kr イオンを照射量を変えつつ照射し、その試料を分析した。また併せて TRIM 及び SRIM を用いてシミュレーションを行うことで、白雲母が Lindhard 領域のエネルギー損失過程に粒子飛跡検出器として有効であるかについて、研究を行った。

井戸 悠生



量子エレクトロニクス教室

1 2 電子原子 Ba の高励起状態 $5d6p^1D_2$ における Stark effect

須藤 佳典

本研究では、2 電子原子 Ba の $6s5d^1D_2 - 5d6p^1D_2$ 遷移(遷移波長 $\lambda = 855.9998\text{nm}$)を、高分解能レーザー分光装置を用いて調べた。レーザと原子線の相互作用領域に一樣な外部電場を印加させることによって、シュタルク効果によるスペクトルシフト・分岐の観測を行なった。今回の遷移では、非常に低い値の電場でシュタルク効果の観測を行うことができた。測定した偶同位体 ^{136}Ba , ^{138}Ba のスペクトルのシフト・分岐から、上準位 1D_2 のテンソル分極率を、 $\alpha_t = -4.885 \pm 0.014 \text{ MHz/(kV/cm)}^2$ 、同遷移のスカラー分極率を $\alpha_s(5d6p^1D_2) - \alpha_s(6s5d^1D_2) = -4.47 \pm 0.08 \text{ MHz/(kV/cm)}^2$ と決定した。

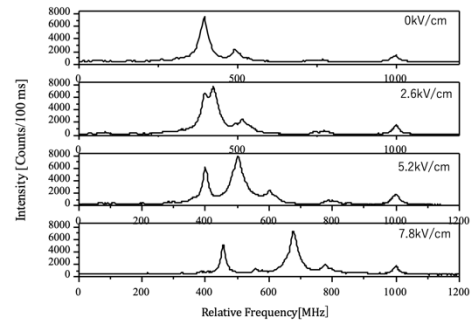


図 電場によるシュタルクスペクトル

2 Ba の $5d6p^1D_2$ 高励起状態におけるシュタルク効果の研究

春山 拓真

Ba 原子の $5d6p^1D_2$ 高励起状態のシュタルク効果の研究はまだ報告されていない。本研究では、2 電子原子系である Ba の $6s5d^1D_2 \rightarrow 5d6p^1D_2$ 遷移について外部共振器型半導体レーザーを用いて、高分解能レーザー分光法によりシュタルク効果を調べた。電場を最大 7.81 kV/cm 印加し、スペクトルシフトとスペクトルの分岐を測定した。本実験から観測した $6s5d^1D_2 \rightarrow 5d6p^1D$ のスペクトル分岐よりテンソル分極率を $-4.885 \pm 0.014 \text{ MHz/(kV/cm)}^2$ 、スペクトルのシフトよりスカラー分極率を $-4.47 \pm 0.08 \text{ MHz/(kV/cm)}^2$ と決定した。

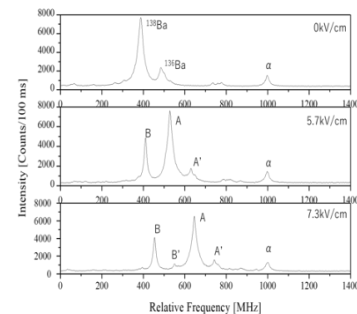


図 実際に観測したシュタルクスペクトル

3 マイクロビーム生成用ガラスキャピラリー内部の量子ビーム拡がりの測定及び制御法の開発

稲吉 琴子

放射線生物学では、細胞核内に局在する DNA の二本鎖切断を効率的に誘発させるためにイオンマイクロビームを使用する。我々はテーパー型ガラスキャピラリー光学系によるマルチ量子マイクロビーム照射法を開発しており、照射用 MeV イオンと照準用可視光レーザーの同時使用が可能となる。ビーム径最小化のため、キャピラリー内でのビーム輸送に着目し、レーザーにおいてはキャピラリー内壁での鏡面反射に起因する大きなビーム拡がり成分の測定方法、および、イオンビームにおいては内壁での散乱の原因となる拡がり成分そのものの抑制方法を開発した。

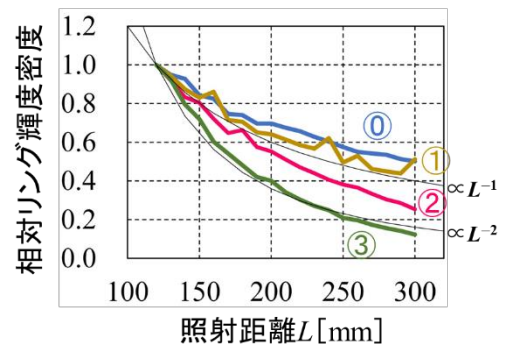


図 透過縞リング輝度密度と照射距離の関係

4 ガラスキャピラリーによるレーザーマイクロビームプロファイル・透過縞の測定

小野 敬祐

テーパー型ガラスキャピラリーによるレーザーマイクロビームを評価するためにビームプロファイルの測定が必要不可欠である。本研究ではレーザーマイクロビームプロファイルの測定方法として画像測定法とパワー密度測定法を開発した。円形開口を用いて透過縞を測定しフラウンホーファー回折の理論計算と比較し評価を行った。評価の結果、パワー密度測定法で得られた測定値は計算値とわずか 2 % 程の差で一致していることを確認した。この測定方法で出口径の異なる 4 本のキャピラリーのビームプロファイルの測定を行い、各リングの相対強度は出口径が大きくなると減少することを見出した。

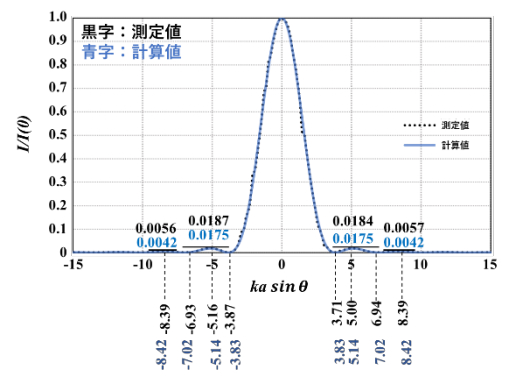


図1：パワー密度測定（水平方向）とフラウンホーファー回折計算との比較
点線：測定値、実線：計算値

5 曲がったガラスキャピラリーを用いたレーザーマイクロビームの形状依存性の研究

神津 雄哉

テーパー型ガラスキャピラリー光学系にレーザービームを通過させることで、レーザーマイクロビームを生成することができる。本研究は波長 405 nm のパルスレーザーを曲がったキャピラリー(出口内径約 30 μm)に透過させ、出射されたマイクロビームの最大出力パワーを、キャピラリーを回転させることにより測定し、透過縞の撮影も行った。9 本のキャピラリーを用いて出力パワーから透過率を求めた結果、曲がり角が大きくなるにつれて透過率が減少することがわかった。

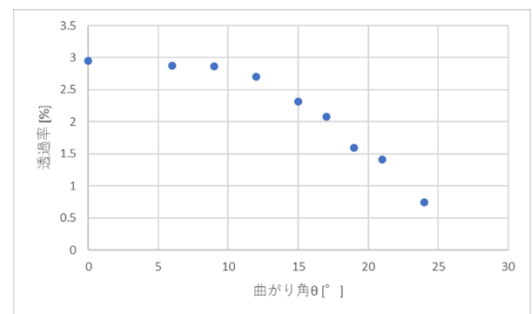


図 曲がり角 θ と透過率の関係

6 クラスタノックアウトのための荷電粒子用シリコンストリップ検出器の開発

樋口 浩志

従来の陽子と中性子を構成要素とする原子核モデルでは説明できない現象が多々ある。本研究では核子が集合体として存在する核内クラスターに注目し、原子核の構成要素にどのようなクラスターが存在するかを解明する。そこで重い原子核ビームを用いた、逆運動学クラスターノックアウト反応の実験を計画し、放出される荷電粒子を測定するテレスコープアレイの開発を行う。

本論文では、構成する検出器としてシリコンストリップ検出器を想定し、位置やエネルギー検出器としての要求性能を議論し、荷電粒子ビームを用いた実験で性能評価を行なった。結果 97.5% の位置特定効率と、右図に示すように、粒子識別可能なエネルギー分解能での検出に成功した。

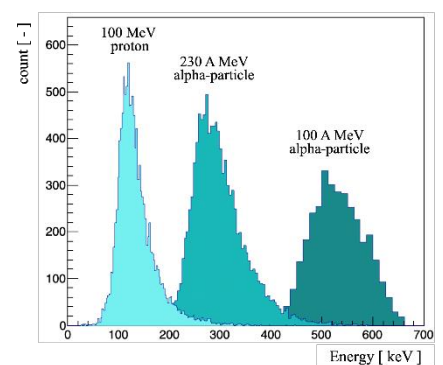


図 シリコン結晶中での各種ビームによるエネルギー損失スペクトル

7 ガフクロミックフィルムの線量応答特性における粒子種依存性に関する研究

川口 太陽

本研究は Gafchromic EBT3 Film の粒子種依存性の有無を炭素、酸素、ネオンの 3 つの線種を用いて検証を行った。モンテカルロ計 PHITS と SRIM を用いて、線エネルギー付与(LET)を計算した。実験では、Advanced Markus と呼ばれる電離箱で測定した線量と、Gafchromic EBT3 Film に照射した線量の比 RE を算出した。

Gafchromic EBT3 Film の粒子種依存性について、LET と RE のグラフから、Gafchromic EBT3 Film の粒子種依存性はあることが明らかになった。また、LET のほかに lineal energy という量を用いて RE との関係調べた。結果として、LET で補正するよりも Lineal Energy で補正することにより粒子種依存性を緩和できるということが明らかになった。

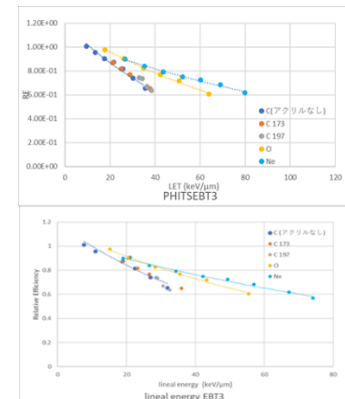


図 (上)各粒子種での LET と RE の関係、(下)lineal energy と RE の関係

8 導波路型 PPLN を用いたモード同期ファイバレーザーの可視光化

石井 嵐

光周波数コムは「光の周波数のものさし」と言われており、マイクロ波周波数標準に基づいた光周波数の高精度な計測が可能な高度レーザー技術である。光周波数コムを、原子や分子の電子遷移が多数存在する可視波長域において発生することができれば、高精度・広帯域・高速な分光測定の実現が期待できる。本研究では、高い信頼性を有する波長 1.55 μm のモード同期 Er ファイバレーザーを用いた可視光コムの発生を目的とする。モード同期 Er ファイバレーザーの出力を光ファイバ増幅器と高非線形光ファイバを用いてスペクトル拡大を行った後、導波路型 PPLN 非線形光学結晶に入射した。その結果、可視波長域 400~800 nm において広く分布する光周波数コムの発生に成功した。

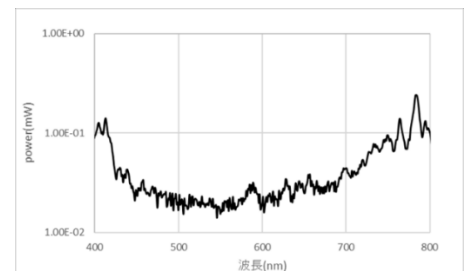


図 導波路型 PPLN によるモード同期 Er ファイバレーザー可視光化時の光スペクトル

9 天文コムの実現に向けた高繰り返しファイバコムの開発

松本 匡史

太陽以外の星をめぐる惑星を探し、どのような世界が広がっているか明らかにする「系外惑星探索」を実現する手法として、天体の視線速度精密測定法(ドップラー法)がある。ドップラー法では、恒星から届く光に含まれる原子分子の吸収線の波長のドップラー効果による変化を精密に測定する。ドップラー法では、波長測定精度が、検出可能な惑星の質量の大小を決める。そのために、波長標準に光コムを適用する「天文コム」を開発し、ドップラー法の波長測定精度の向上を目指す。本研究では、高い信頼性と実用性を有するモード同期ファイバレーザーによる光コムの高繰り返し化に取り組み、繰り返し周波数 272 MHz での光コムの発生を実現し、Rb マイクロ波周波数基準への位相同期に成功した。

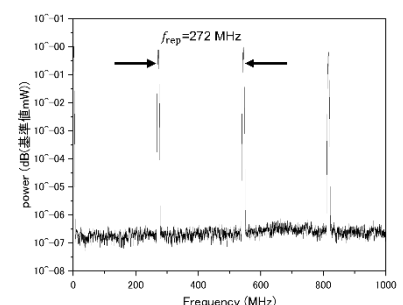


図 繰り返し周波数 272 MHz の周波数スペクトル

10 光コムを用いたマイクロ波-超短パルス光超高精度タイミング検出手法の開発

吉田 和輝

ポンプ・プローブ分光法は、ポンプ光である超短パルスレーザー光を資料に照射すると、励起状態に遷移し資料の誘電率が変化する。その誘電率の変化をプローブ光の透過率変化で観測するものである。その際、自由電子レーザー（XFEL）であるSACLAをプローブ光として用いる研究が行われている。しかし、XFEL のパルス幅が 10 fs 以下であるが、ポンプ光と XFEL のタイミング同期の安定性は 30 fs 程度であり、時間分解能の制限となっている。本研究では、光コムを利用したマイクロ波-超短パルス光長高精度タイミング検出手法を開発する。光コムの繰り返し周波数に対し 100 倍高いマイクロ波周波数信号を位相変調器に印加し、マイクロ波と光パルス包絡線の間の位相差信号を高感度に検出することに成功した。

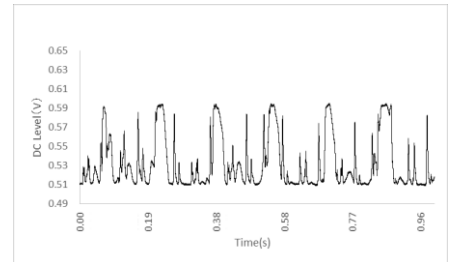


図 検出された位相差信号

11 双方向動作型デュアルコムファイバレーザの開発

松田 美一

2 台の光コムを用いるデュアルコム分光法は、高速・広帯域・高分解能な分光測定が可能な手法として注目されている。一方、従来のデュアルコム分光用の光源システムは大きかりかつ複雑であるため、デュアルコム分光の使用は一部の研究グループに限定されている。この課題を解決するために本研究では、1 台のレーザーで 2 台の光コムの同時発生が可能な双方向動作型デュアルコムファイバレーザの開発を行った。非共通部分において、4 ポートサーキュレーターを用いることで、繰り返し周波数 (f_{rep}) が約 52MHz、繰り返し周波数の差 $\Delta f_{rep} \sim 790\text{kHz}$ での 2 台の光コムの同時発生に成功した。

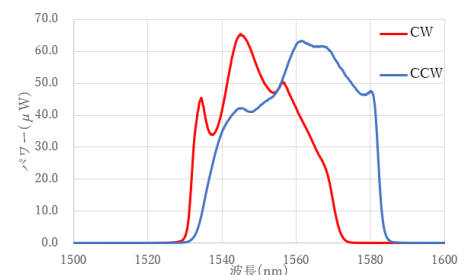
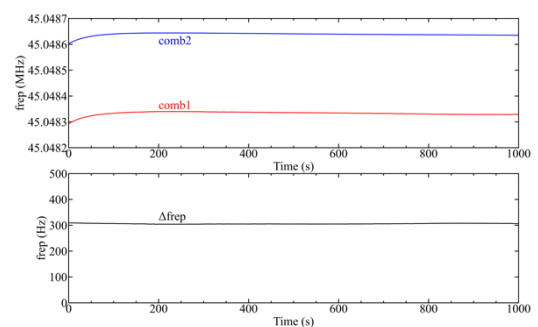


図 双方向同時モード同期時の光スペクトル

12 Micro-optic package を用いた全偏波保持機構共有型デュアルコムファイバレーザの開発

湯本 拓実

デュアルコム分光は、データ取得時間の速さ、分解能の高さの点で他の分光法に比べて優れていることから大きな注目を集めている。その汎用性を高めるためにデュアルコムレーザーの小型化、堅牢化を目指した。Micro-optic package を用いた SESAM 集光光学系、WDM カプラ、部分反射ミラーで構成することにより小型化し、全偏波保持構成にすることで堅牢性を高めた全偏波保持型のモード同期ファイバレーザを 2 台作成した。これらを小さな箱に密接して設置し、小型かつ簡便なあらゆる環境で動作可能なデュアルコムレーザーを開発した。

図 1000 秒間における comb1, comb2 の繰り返し周波数 f_{rep} 、繰り返し周波数差 Δf_{rep} の時間変化

宇宙物理学教室

1 超巨大ブラックホールにおける質量問題

大久保 宏真

超巨大ブラックホール(Super Massive Black Hole;SMBH)とは 10^{10} 太陽質量程度の質量を持っているブラックホールであり、その多くは銀河中心に位置している。SMBH は宇宙誕生からわずか 7 億年程度で 10^{10} 太陽質量程度の質量を持っていることが観測から明らかになっている。SMBH の基となる種ブラックホールは 10^2 太陽質量程度と考えられているが、種ブラックホールに Eddington 降着率で質量降着させていっても 7 億年では 10^{10} 太陽質量には及ばず、観測結果を説明できない。これを SMBH 問題と呼び、宇宙物理学における大きな謎の 1 つになっている。そこで本研究では、SMBH 形成の理論モデルを概観するとともに SMBH 問題の解決策について考察した。その結果、種ブラックホールの質量が 10^4 太陽質量程度以上、もしくは Eddington 降着率の 1.3 倍以上の降着率が実現されるならば SMBH が形成される可能性があることが分かった。

2 天体の軌道による Wormhole 時空の検証について

佐藤 由芽

ワームホールは時空の 2 点をつなぐトンネルのようなものでありアインシュタイン方程式の解として得られる。ただし負のエネルギーの仮定が必要となるため現実的には存在しないと考えられてきた。これに対し、最近の研究によって人が通れるようなワームホールが安定に存在できる可能性が指摘されている。そこで本研究ではワームホールが存在するかどうかを検証することを目的としワームホール時空とブラックホール時空における光及び天体の軌道の違いについて調べた。Morris-Thorne ワームホールを採用した場合、有効ポテンシャルを用いた解析の結果、ブラックホール時空に存在する不安定円軌道がワームホール時空にはないことがわかった。さらに、一般の軌道における違いを調べるために任意の球対称時空における測地線方程式を解くコードを開発し、円軌道の場合に適用した。

3 カーブラックホール周りの粒子の軌道及びペンローズ過程によるエネルギーの取り出し

中嶋 大晴

回転するブラックホールまわりの時空(Kerr 時空)では、ペンローズ過程によってブラックホールからエネルギーを取り出す、ブラックホール発電が理論上可能とされている。ペンローズ過程では、物体をエルゴ領域に落とし分裂させると、片方が負のエネルギーを持ちうる。このときもう一方の物体のエネルギーが分裂前より増加する。観測者がこの物体を受け取ることで、エネルギーを初めより増やすことが出来る。本研究ではペンローズ過程をシミュレーションするためコードを作成した。シミュレーションから、エネルギーの変換効率を数値計算によって求めた。ブラックホールに対して静止した観測者を設定し物体を投下、再度捕捉した際のエネルギーを計算した結果、用いた初期条件では 11%ものエネルギー変換効率になった。水素の核融合のエネルギー変換効率は 0.7%であるため、理論上非常に大きなエネルギーを得られることが分かった。

4 5 次精度 MUSCL 法の性能評価

徐 輔賢

流体力学の基礎方程式は非線形偏微分方程式系であるため、解析的に解くことは非常に難しく、数値的に解く必要がある。しかし、方程式の非線形性により、一般に不連続な解が生じるため、解の連続性を前提に得られる単純な差分スキームでは高次精度化を行うことができない。これに対し提案されたスキームが、1 次精度風上差分法に基づいて高次精度化を行う MUSCL 法(Monotonic Upstream-centered Scheme for Conservation Laws)である。多くの場合には 3 次精度の MUSCL 法を用いることが多いが、本研究では山本・大宮司らにより提唱されたアルゴリズムに基づいて MUSCL 法を 5 次精度へと拡張し、流体力学の基礎方程式を解くための基本となる移流方程式に適用して、その性能評価を行った。その結果、3 次精度から 4 次精度にかけては精度の向上が見られたが、4 次精度から 5 次精度にかけては精度の向上がごくわずかとなった。

5 テラヘルツ光子計数型検出器の開発に向けた回路作成

照井 惇寿

光子計数型テラヘルツ強度干渉計の開発に向けて、それに搭載する SIS 検出器を運用するために、インピーダンス変換をする必要がある。そのために、FET を用いた読み出し回路の開発を行う。実験では、FET のキャパシタンス測定と Si-JFET と GaAs-JFET を用いたソースフォロワー回路を作成し回路の評価を行った。キャパシタンス測定では、寄生容量をある程度落とすことができ、今後は残った容量を減らすことが課題である。回路の評価では、出力インピーダンスは最も小さい値で $10\text{k}\Omega$ 程であった。雑音>電圧信号となり現在の条件では使えない。今後、ゲート電圧、抵抗を変えて使用可能な条件を探す必要がある。

6 小惑星に対する古在機構の数値解析

望月 海斗

古在機構とは、小惑星の軌道傾斜角と軌道離心率が大きい場合に、太陽以外の天体からの摂動を受けて、軌道傾斜角や近点引数等が周期的な変化をする現象のことである。この現象を調べるため、本研究では、制限三体問題の枠組みのもとで、小惑星の長期的な軌道の変化を数値的に解いた。その結果、小惑星が木星からの摂動を受けながら不安定な軌道を描く様子を確認することができた。また、永年方程式を解いた結果との比較も行いたい。

7 三体問題に対するシンプレクティック数値積分法の構築

野呂瀬 陽己

三体問題に対する高精度な数値計算法の検討を目的として、シンプレクティック数値積分法の構築、及びピタゴラス三体問題への適用を行った。この数値積分法は、長時間積分においてもエネルギー保存が保証されるようなスキームである。その結果、4 次のシンプレクティック法は、4 次のルンゲクッタ法に比べてエネルギー保存の精度が格段に向上した。ただし、軌道については精度が不十分であることが分かったので、さらに高精度化した 8 次のシンプレクティック法を用いたところ、正しい解に極めて近い軌道を得ることができた。

8 ダークマターハローの速度異方性

齊藤 諒真

速度異方性は、ダークマターハローの基本的な物理量の一つである。本研究では、 N 体シミュレーションのデータを用いて、ダークマターハローの速度分散、速度異方性を定量的に調べた。また、将来の分光観測を念頭に、天球面上に投影された視線方向の速度分散から 3 次元的速度異方性の情報を引き出すことを考えた。その結果、動径方向の速度分散が接線方向の速度分散よりも系統的に大きく、速度異方性が一般的に無視できないことが分かった。また、ジーンズ方程式を用いると、観測される視線方向の速度分散の分布から、3 次元的速度異方性の情報を引き出すことができることが示唆された。

9 水素とヘリウムの非平衡電離過程

箱田 あんじゅ

宇宙のバリオンの大部分は電離ガスであり、高温・高密度状態では電離平衡が良い近似で成り立つが、低密度($\sim 10^{-6}\text{cm}^{-3}$)では電離平衡が必ずしも正当化できるわけではない。そこで本研究では、バリオンの主成分である水素とヘリウムに対して、非平衡状態における電離率の時間発展を定量的に調べた。その結果、衝突電離のもとでは、低密度・低温(10^5 K 程度)でヘリウムイオンが非平衡となった。電離平衡時の電離率と比較したところ 3 倍程度の差が確認できた。一方で、温度が 10^6 K を超えると、全てのイオンが電離平衡に達した。さらに、光電離の影響についても考察した。

10 中高温銀河間物質の非平衡電離過程

室岡 美奈

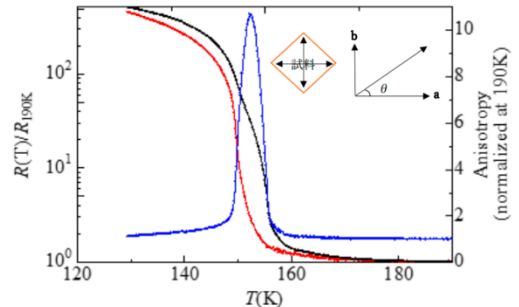
宇宙に存在するバリオンの大半は未検出であり、ダークバリオンと呼ばれている。その有力候補が中高温銀河間物質(WHIM)である。WHIM に関する研究の多くは電離平衡を仮定していたが、WHIM 中のイオンは非電離平衡となり観測データの解釈に影響を与える可能性がある。そこで、本研究では非電離平衡状態における酸素イオンの数密度の時間発展を数値的に調べた。その結果、WHIM の探査に従来よく用いられてきた OVII,OVIII は、温度や密度の条件によっては、その存在比が電離平衡を仮定した時に比べて数%から数十%異なり、特に低密度・低温の場合においてその差が顕著であることが分かった。

物性物理学教室

1 擬 2 次元有機導体 α -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$ の基板上薄片単結晶における電気抵抗の電流方向依存性

大上 達也

擬 2 次元有機導体 α -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$ は 135K で金属からストライプ型の電荷秩序絶縁体に相転移する。先行研究により、転移温度付近でのみ電気抵抗率の面内異方性が 1 桁以上増大する特異な現象が知られている。本研究では、先行研究と同様に α -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$ の薄片状単結晶を基板に固定し、レーザーで異方性を調べやすい形に加工して転移温度付近の電気抵抗率の面内異方性を調べた。先行研究における問題点を基板を改良することにより克服し、「先行研究で観測された異方性が試料中の同じ場所で確かに観測されることを確認する」、「 a 軸に対して 45° , 135° の方向に沿っても測定を行い、電気抵抗の角度依存性をより詳細に解析する」を目的として測定を行った。その結果、試料中の同じ場所で確かに約 10 倍の面内異方性が存在すること、結晶軸に対して斜め方向にはほとんど異方性がないことを確認することが出来た。



試料の電気抵抗の温度依存性と
電気抵抗の異方性

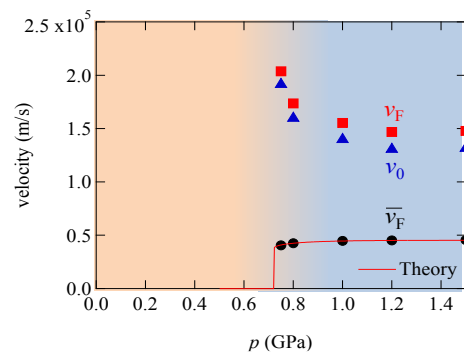
黒線: $\theta = 0^\circ$ 赤線: $\theta = 90^\circ$

青線: 電気抵抗の異方性

2 有機ディラック電子系 α -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$ における量子相転移

間瀬 ゆきの

有機導体 α -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$ で、電荷秩序相に隣接した質量ゼロのディラック電子系が実現した。本研究では、「質量ゼロのディラック電子系の電子間相互作用を強くしていくと、どのように電荷秩序相に量子相転移を起こすのか」という問題に取り組み、この系の輸送特性からディラックコーンのパラメーターを調べた。量子臨界点に近づくにつれ、平均フェルミ速度は急激に減少するが、ディラックコーンが k_a 方向に大きく傾くことによることを実験的に明らかにした。一方、オリジナルのフェルミ速度は量子臨界点に近づくにつれて増大することがわかった。

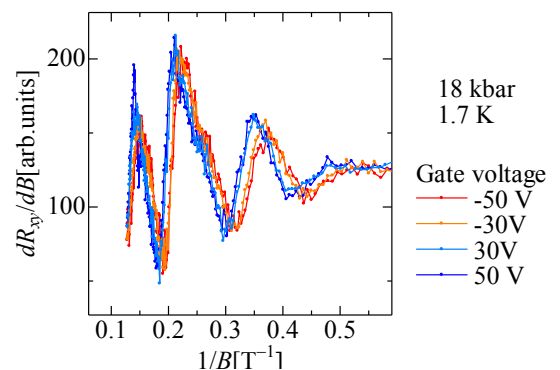


フェルミ速度の圧力依存性

3 電界効果トランジスタを用いた有機ディラック電子系のキャリア注入

山梨 紗英

α -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$ は代表的な有機ディラック電子系であり、強い電子間相互作用をはじめ、グラフェンと異なる特徴をもった興味深い物質である。しかし圧力下でのみディラック電子系となるため、グラフェンで行われている電界効果トランジスタによるフェルミ準位の制御は難しい。昨年、田島は基板およびゲート絶縁膜に有機材料を使用した α -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$ トランジスタを作製し、圧力下の電気抵抗をゲート電圧で制御できることを報告した。本研究では電気抵抗に加えホール抵抗も同時に測定可能な α -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$ トランジスタを作製し、それらの磁場依存性を調べた。その結果、先行研究と同様にゲート電圧でディラック電子の密度を約 9% 変化させることに成功した。また、ゲート電圧を印加した際のホール抵抗の磁場依存性の傾きに変化が見られなかったことから、量子振動成分を除いたホール抵抗はほとんどバルク部分のホール抵抗を反映しており、その傾きや符号は表面の注入キャリアの情報をほとんど含んでいないことがわかった。

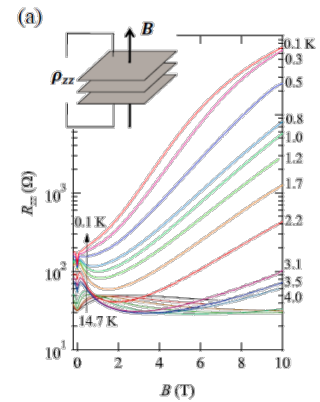


α -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$ のディラック電子相における
ホール抵抗振動のゲート電圧依存性

4 有機ディラック電子系におけるゼロモード効果

森 彩乃

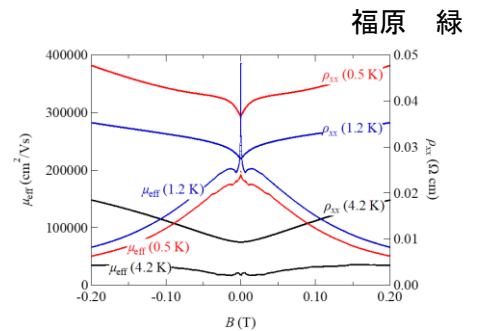
グラフェンの実現以来、多種の物質で質量ゼロのディラック電子が発見され、固体中電子の一類型として広く認知された。2つの円錐型バンドが上下から角突き合わせた特殊なエネルギー構造に起因する π ベリー位相が物理現象を特徴付けるホールマークとなる。例えば、 π ベリー位相により電子の後方散乱は抑制される。さらに、 π ベリー位相は磁場下で円錐型バンド接点に $N=0$ ランダウ準位(ゼロモード)を常に形成するが、その幅は他の準位と比べて非常に狭いことが理論的に指摘されている。本研究では、有機ディラック電子系 α -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$ を題材に、ゼロモード幅は他の準位よりも非常に狭いことを実験的に実証した。



0.1 K から 14.7 K の温度域における層間抵抗の磁場依存性

5 有機ディラック電子系における低温輸送特性

有機導体 α -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$ で実現した質量ゼロのディラック電子系は、バルクとして実現し、フェルミ準位がディラック「点」に一致するという他の物質がかなわない特徴がある。本研究では、ディラック「点」における新しい物理現象を探索することを目的とし、有機ディラック電子系 α -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$ の磁気抵抗効果とホール効果を低温・低磁場下で調べた。2K 以下の低温で磁気抵抗が磁場に比例する現象を見出し、その振る舞いは磁場の方向には寄らないことを明らかにした。その磁場領域でキャリア易動度が急激に減少することから、磁場で散乱機構が急激に変化することが示唆された。

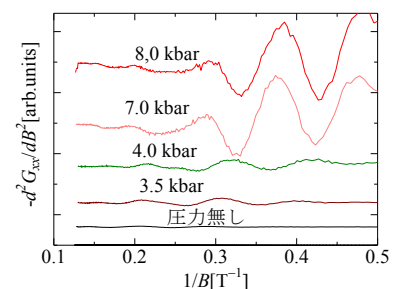


0.5K、1.2K、4.2K におけるキャリア易動度 μ (実線)と抵抗 ρ (破線)の磁場依存性

6 有機導体 α -(BETS) $_2$ I $_3$ へのキャリア注入効果によるシュブニコフ・ド・ハース振動の圧力依存性の解析

馬場 慎太郎

有機導体 α -(BETS) $_2$ I $_3$ は、圧力下で有機ディラック電子系となる α -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$ の類縁物質であり、第一原理計算によれば常圧でもディラックコーンが存在する可能性が示されている。しかし磁気抵抗測定によれば、常圧でディラック電子は存在せず、18 kbar の高圧力下では存在することが確かめられている。そこで本研究では α -(BETS) $_2$ I $_3$ の磁気抵抗の圧力依存性を調べ、普通の電子からディラック電子に変わる圧力を調べた。その結果、正孔を注入時に各圧力下において量子振動が確認され、4.5 kbar から 5.0 kbar の間で普通の電子からディラック電子へと変化することが分かった。このことは低温における金属絶縁体転移に伴ってディラック電子が現れることを示唆している。

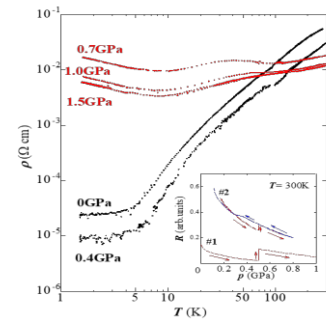


α -(BETS) $_2$ I $_3$ の圧力下量子振動

7 有機導体 θ -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$ の高圧力下電子状態

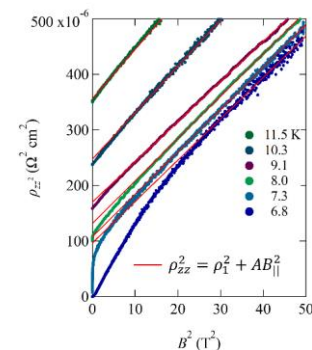
伊東 猛琉

有機導体 θ -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$ は常圧力下では大きなフェルミ面を持つ擬2次元金属であるが、室温でこの物質に圧力を印加すると約0.5GPaで金属からディラック電子系へ一次相転移することが見出された。しかし、金属からどのようにディラック電子系へと相転移を起こすのか、高圧下のディラック分散関係などまだ未解明である。本研究ではこの物質の高圧下電子状態を明らかにすることを目的に、層間磁気抵抗を調べた。結果、量子磁気抵抗振動及び角度磁気抵抗振動を測定し、その詳細な解析から、高圧下でこの物質ではディラック電子系と通常の電子とが共存していることが判明した。

 θ -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$ の圧力下電気抵抗率8 有機超伝導体 β -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$ における超伝導ゆらぎと層間磁気抵抗効果

鐘田 友美

非従来型の超伝導体では、超伝導転移よりも高温から短距離の超伝導状態が生じる超伝導揺らぎ現象が起き、この理解が超伝導機構解明の手掛かりの1つとなつて言われている。これまで、超伝導揺らぎ状態を調べる手段は、NMR測定やネルンスト係数測定が主であった。NMR測定から超伝導のゆらぎは準粒子の状態密度を軽減させることが明らかにされてきた。また、特殊な散乱構造は巨大なネルンスト係数をもたらすことが知られている。しかし、どちらも高磁場を必要とする。本研究では、有機超伝導体 β -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$ を題材にして、ゼロ磁場近傍の層間磁気抵抗効果が超伝導揺らぎを検出するのに優れたプローブになることを提案する。

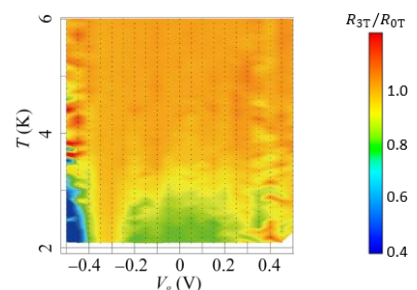


磁場の二乗と抵抗率の二乗の関係

9 κ -(BEDT-TTF)Cu $_2$ (CN) $_3$ のバンド幅-バンドフィリング制御による超伝導相の探索

久保田 祐樹

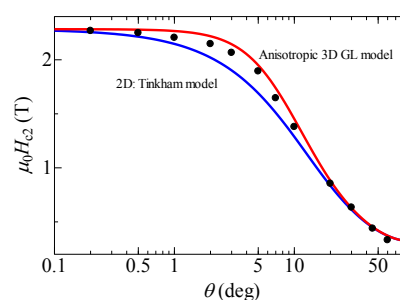
有機反強磁性モット絶縁体 κ -(BEDT-TTF) $_2$ Cu[N(CN) $_2$]Clでは、先行研究でバンドフィリングとバンド幅の同時制御による超伝導相図が得られている。本研究では、この相図が有機反強磁性モット絶縁体に特有の性質であるのかを見出すため、同様の実験を、反強磁性秩序を示さない有機モット絶縁体 κ -(BEDT-TTF)Cu $_2$ (CN) $_3$ で行い、得られた相図を比較した。その結果、 κ -(BEDT-TTF) $_2$ Cu[N(CN) $_2$]Clとよく似たドーピング非対称な超伝導相図が得られたが、そのバンド幅依存性はわずかに異なっており、バンド幅-バンドフィリング相図においてホールドーピング超伝導の方が電子ドーピング超伝導よりも強相領域に広がっていることが分かった。

0.302%のひずみ印加時の R_{3T}/R_{0T} の等高線プロット

10 分子性導体 $\text{EtMe}_3\text{P}[\text{Pd}(\text{dmit})_2]_2$ の一軸圧縮下超伝導

小宮山 翔太

電子対を形成した Valence Bond 秩序 (VBO) 状態からの超伝導転移が分子性導体 $\text{EtMe}_3\text{P}[\text{Pd}(\text{dmit})_2]_2$ の静水圧下で発見され、大変注目されている。本研究では VBO と超伝導の関係性を明らかにすることを目的に、VB を形成する方向への一軸圧縮下で超伝導を実現し、超伝導次元性と超伝導コヒーレンス長を低温・磁場下電気伝導性から調べた。結果、この超伝導状態は静水圧下と同様、異方的 3 次元性であることが分かった。一方、層内と層間のコヒーレンス長はそれぞれ 6.03nm、2.85nm と見積もられた。

EtMe₃P[Pd(dmit)₂]₂ の超伝導次元性

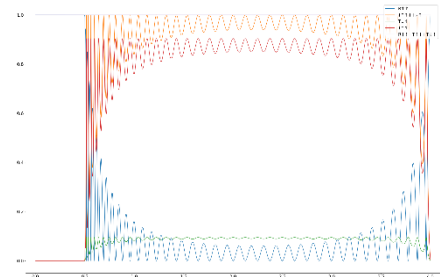
物性理論教室

1 量子細線におけるスピン依存電流に関する理論的研究

五十嵐宥介

スピン軌道相互作用はスピントロニクスにおいて大きな役割を持っている半導体のヘテロ結合の界面近傍に形成される 2 次元電子系では垂直電場によってラシュバ型スピン軌道相互作用が現れる。

今回の研究では、強束縛近似を用いてラシュバ型スピン軌道相互作用を有する量子細線における電子のスピン依存透過率・反射率の解析をグリーン関数法を用いて行った。その結果スピン偏極率のシステムサイズ依存性やゼーマン効果によるスピン分極の変化を明らかにした。

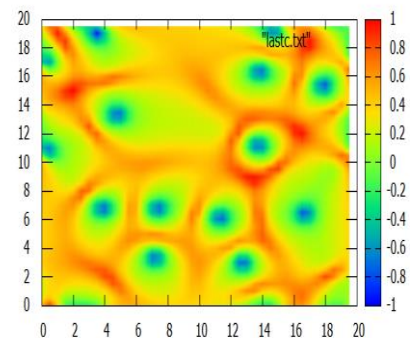


$\theta=0.1\pi$ でのラシュバ型スピン軌道相互作用を有する量子細線のスピン依存透過率・反射率の計算

2 非対称磁気スカーミオンの構造変化に対する理論的研究

米澤拓磨

磁化スカーミオンは交換相互作用と DM 相互作用がある場合に出現するトポロジ的に安定した構造である。スカーミオンに磁気異方性相互作用を導入することによって非対称スカーミオンになることが、先行研究によって明らかになった。本研究ではさらに磁気異方性を強くすることで、異なる磁化構造を形成することを明らかにした。新しい磁化構造中ではトポロジカルチャージと呼ばれる量が通常と逆符号になる。

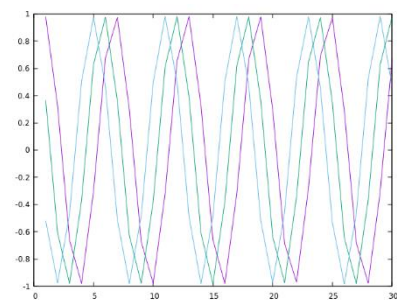


異方性を強めたスカーミオン

3 磁気フラストレーション系のらせん磁化構造に対する電流駆動

金田 純

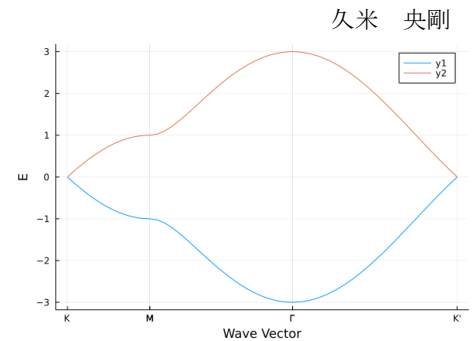
磁気フラストレーション系とは複数の最適条件が競合し、その条件を同時に満たすことのできない系を指す。本研究では、強磁性結合・反強磁性結合の混在した一次元磁気フラストレーションに現れるらせん磁化構造を数値的に作成した。さらに、作成したらせん磁化構造に対する電流駆動の研究を行った。らせん磁化構造は電流を印加することによって、らせん磁化構造を保ちながら並進駆動されることがわかった。また、電流の大きさに比例して、駆動速度が速くなることがわかった。また、らせん磁区に対して垂直方向に静磁場を印加することでカイラルソリトン格子と呼ばれる磁化構造を確認した。



らせん磁化構造の駆動のグラフ

4 二次元強束縛模型の電子状態

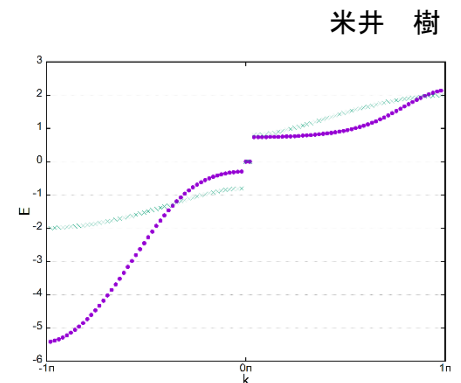
本研究では Julia の TightBinding 模型というパッケージを利用して、二次元六角格子や π フラックス模型、カゴメ格子模型といった二次元電位系の電子状態を強束縛模型に基づいて、数値的に調べた。実際の解析解と比較し、パッケージを利用して得られた状態密度とエネルギーバンドがどれほどの精度を持つのか考察した。



Julia の TightBinding 模型より求めたグラフィエンのエネルギーバンド。
K と K' 点でディラックコーンが生じる。

5 一般化されたカイラル対称性のもとでの端状態の数値的計算

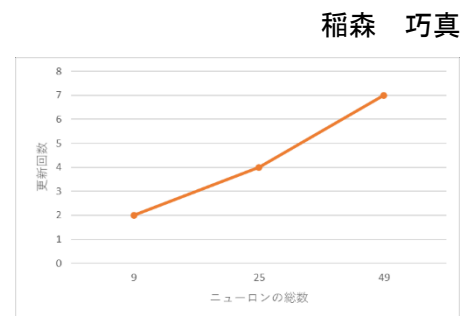
本研究ではポリアセチレンの理論模型として知られる 1 次元 Su-Schrieffer-Heeger model (SSH 模型) を一般化されたカイラル対称性に拡張した変形 SSH 模型におけるトポロジカルな端状態の振る舞いについて数値的に解析した。SSH 模型と変形 SSH 模型のエネルギースペクトルと端状態の波動関数を比較した。また、変形 SSH 模型のハミルトニアンに固有の性質として質量項を加えた場合、質量の大きさによって端状態の波動関数の振る舞いが大きく変化することが確認できた。



SSH 模型と変形 SSH 模型のエネルギー
スペクトルの比較：紫が SSH 模
あり、緑が変形 SSH 模型である。

6 ニューラルネットワークにおける想起とその更新に関する研究

想起とはこちらが記憶させたものを思い出すことである。簡単なモデルを使ってパターンを更新していき想起させるようなプログラムを組んだ。その際の更新回数に着目し何が更新回数に影響を与えているのかを調べた。今回はニューロンの総数と想起させる内容による更新回数の変化を調べた。その結果ニューロンの総数が多いほど更新回数が増えること。また想起させる内容によっても更新化数が変化することが確認できた。

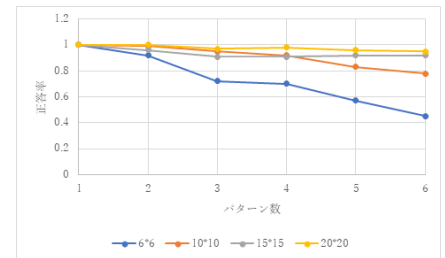


ニューロンの総数と更新回数の関係性

7 相互結合型ネットワークを用いた記憶想起と反学習の効果

丸山 浩樹

相互結合型ネットワークを用いた記憶想起と反学習の効果についての数値的研究を行った。想起はニューロンの総数、埋め込むパターン数、ノイズ、想起最大回数の4つの条件を変えていきながら、想起の正答率を計算した。その結果、適切な想起回数であれば記憶できるパターンはニューロンの数が増えれば増加すること、また、反学習は、正答率が改善することを実際に確認することができた。

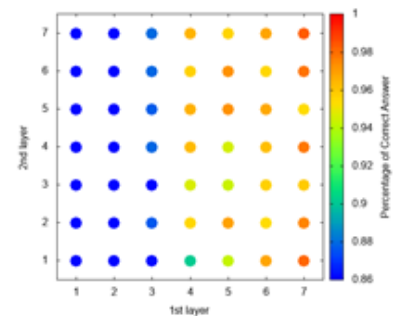


正答率とパターン数の関係

8 多層パーセプトロンを用いた機械学習の研究

白木 太士

本研究では、ニューラルネットワークの層状ネットワークにおけるパーセプトロン学習を行った。多層パーセプトロンでは、単純パーセプトロンでは学習できなかった線形分離不可能な課題を学習することが確認でき、中間層の数が増えると学習の精度が上がるということが分かった。また、三次元中の線形分離不可能な空間分離を行えることが確認できた。更に、各中間層のニューロン数が増えるほど学習の精度が上がるということが分かった。

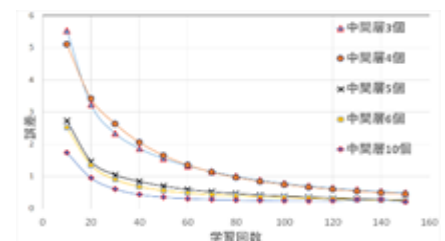


三次元中の線形分離不可能な課題を学習させた時の、各中間層のニューロン数と正答率の関係

9 再帰型ニューラルネットワークを用いた時系列データの予想

霜田 弘太

機械学習を用いて、時系列データの学習・予想を行った。機械学習には再帰型ニューラルネットワーク(RNN)を用いて、中間層の層数やノード数の変化によって、予想の精度がどのように変化するかを調べた。正弦波データに対してノード数 1~10 までの範囲で研究した結果、ノード数が 5 程度で、正確な学習ができることが確認できた。

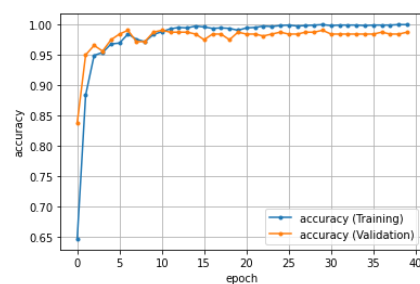


各ノード数における学習回数と予想の誤差の関係

10 機械学習を用いたキラル物質の画像識別

和田 夏希

鏡像と元の像が重ならない性質を持つ物質をキラル物質と呼ぶ。現在、キラル物質の片方のみを作成する方法は確立されていない。そこで、近年盛んに研究されている画像認識技術を用いることで、キラル物質の判別を行うことが出来るのではないかと考えた。本研究では、キラル物質を模した CG モデルを畳み込みニューラルネットワークに学習させ、右手系、左手系の判別を行うネットワークを作成した。ファインチューニングという手法を導入して学習を行った結果、97%の精度で CG モデルの判別を行うことに成功した。



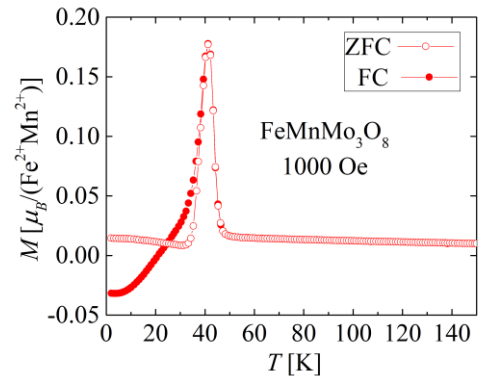
ファインチューニングを用いた際の学習回数と精度の関係

磁気物性学教室

1 FeAMo_3O_8 ($A=\text{Mn}, \text{Co}, \text{Ni}, \text{Cu}$) の磁気特性

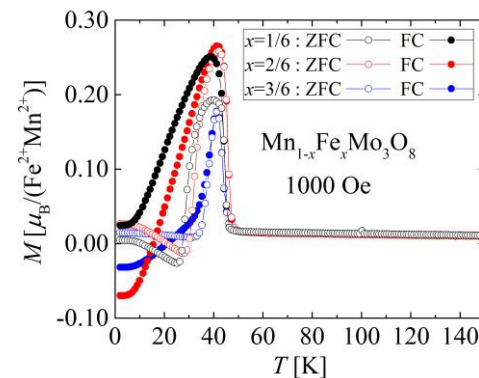
須藤 祐香

擬二次元的構造を持つカミオカイト型酸化物 $\text{Fe}_2\text{Mo}_3\text{O}_8$ は、マルチフェロイック特性を示すことから、最近注目されている。我々は Fe サイトの半分を $A = \text{Co}, \text{Mn}, \text{Ni}, \text{Cu}$ で置換した FeAMo_3O_8 の磁気特性を調べた。 $\text{FeCoMo}_3\text{O}_8$ の磁化の温度依存性には、二段の磁気転移(18 K, 52 K)が見られた。52 K の磁気転移ではハニカム型格子内で反強磁性的に秩序し(二次元的な磁気秩序)、18 K では、ハニカム型格子間が磁氣的に結合している(三次元的な磁気秩序)と考えられる。 $\text{FeMnMo}_3\text{O}_8$ の磁化の振る舞いは、過去の報告と大きな違いが見られた。これは試料作製条件による Mn の四面体(八面体)サイトの占有率の違いが原因であると考えられる。

 $(\text{MnFe})_2\text{Mo}_3\text{O}_8$ の磁化の温度依存性2 $(\text{Mn}_{1-x}\text{Fe}_x)_2\text{Mo}_3\text{O}_8$ ($x=1/6, 2/6, 3/6$) の磁気特性

高梨 良介

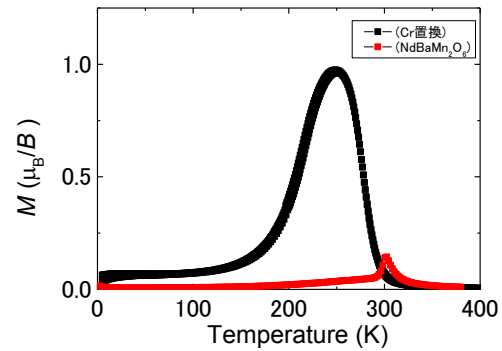
$\text{Fe}_2\text{Mo}_3\text{O}_8$ はマルチフェロイック特性を示すことから、近年注目されている。本実験では Fe を Mn で置換した $(\text{Mn}_{1-x}\text{Fe}_x)_2\text{Mo}_3\text{O}_8$ ($x=1/6, 2/6, 3/6$) の磁性を調べた。作成した試料の磁化はすべて 43 K 付近でハニカム型格子面内で Mn と Fe がフェリ磁性的に秩序し、さらに温度を下げると、フェリ磁性面が反強磁性的に結合するような振る舞いを見せた。 $x=2/6$ で磁化が最も大きくなっており、傾角反強磁性成分とフェリ磁性成分からの寄付があると考えられる。また、 $\text{MnFeMo}_3\text{O}_8$ の磁気転移は、先行研究で報告されたものと比較すると、かなり鋭くなっている。この結果は、焼成条件により Mn の四面体もしくは八面体サイトの占有率が変化している可能性があることを示している。

 $(\text{Mn}_{1-x}\text{Fe}_x)_2\text{Mo}_3\text{O}_8$ の磁化の温度依存性

3 NdBaMn₂O₆ の Mn サイトの乱れによる磁性の変化

人見 理花

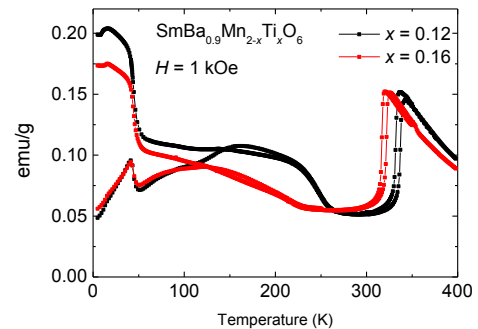
RBaMn₂O₆ (R=希土類) は室温での超巨大磁気抵抗効果の発現が期待されている。本研究では Mn の一部を他の元素で置換し、超巨大磁気抵抗効果の発現を妨げている A 型反強磁性相に与える影響を調べた。Mn の平均価数を 3.5 価に固定しながら、Ti⁴⁺と Ga³⁺置換を同時に施した NdBaMn₂O₆ の磁気特性を調べた結果、強磁性相が抑制されることがわかった。Ti⁴⁺のみを置換して Mn の平均価数を小さくした試料においては、強磁性相が安定化されたため（先行研究）、本研究の結果は Mn の平均価数を変えることが強磁性相の安定化において重要であることを示している。また、Cr 置換した試料においては、強磁性相の発達がみられた。

NdBaMn_{2-x}Cr_xO₆ の磁化の温度依存性

4 Ti 置換および元素欠損が SmBaMn₂O₆ の電荷・軌道秩序相に与える効果

仲二見 武

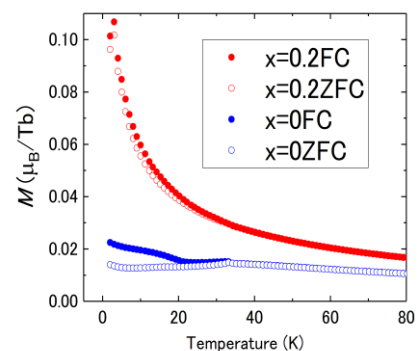
RBaMn₂O₆ は室温で超巨大磁気抵抗 (CMR) 効果が発現することを期待されている物質である。本研究では電荷・軌道秩序相を基底状態に持つ SmBaMn₂O₆ の Ba サイト欠損および Mn サイトの Ti 置換が電荷・軌道秩序相に与える影響を調べた。その結果、電荷・軌道秩序転移温度 T_{CO} は低下したが、キュリーワイス温度 (θ_{CW}) も母物質+300 K から+228 K まで低下することが分かった。このことは Ba 欠損による θ_{CW} 上昇 (強磁性相の安定化) よりも Ti 置換による θ_{CW} 低下 (強磁性相の抑制) の影響が大きいことを示している。

SmBa_{0.9}Mn_{2-x}Ti_xO₆ の磁化の温度依存性

5 Bi 置換が BaTbO₃ の磁気特性に与える効果

中村 凌

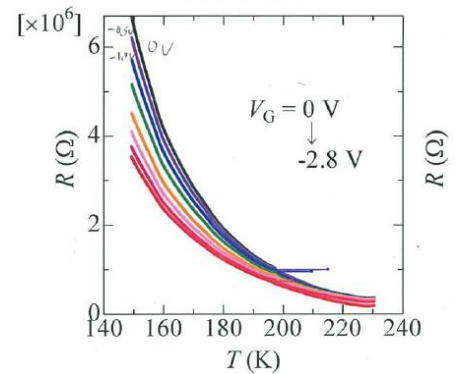
希土類元素が混合原子価を持つペロブスカイト型酸化物は報告例が少なく、それが物性に与える効果についてはほとんどわかっていない。本研究では希土類元素 Tb が混合原子価を持つ Ba_{1-x}Bi_xTbO₃、BaTb_{1-x}Bi_xO₃ の作成を行い、その磁性について調べた。温度を下げていくと Ba_{1-x}Bi_xTbO₃ (x=0.2) の磁化は増大し、フェリ磁性的な成分が現れた。これは Bi 置換により Tb³⁺ の割合が増えたためである。Ar 焼成した (酸素欠損した) 試料と空気アニールした (酸素欠損のない) 試料の磁化を比較すると、Ar 焼成した試料の磁化の方が大きくなっている。これは酸素欠損により生じた Tb³⁺ が原因であると考えられる。

Ba_{1-x}Bi_xTbO₃ の磁化の温度依存性

6 層状ペロブスカイト型 Co, Mn 酸化物の単結晶育成とその物性

清水 寛太

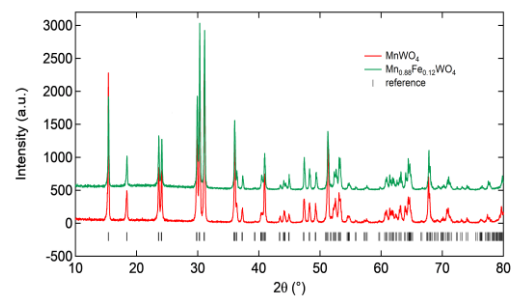
本研究では、層状ペロブスカイト型 Co, Mn 酸化物の単結晶育成とその物性について調べた。NdSrCoO₄ 単結晶の育成し、電気二重層トランジスタにすることで価数制御を試みた。印加電圧の増大(ホールドープする)につれて、電気抵抗の活性化エネルギーの減少が見られた。これは、La_{1-x}Sr_{1+x}CoO₄ のホールドープと同じような挙動を示していると言える。



7 非共面的磁気構造を有する MnWO₄ の単結晶育成と化学置換による磁気制御

西山 響

スピン軌道相互作用に発現する非自明な磁気輸送特性は、省エネルギースピントロニクスデバイスの開発など応用の観点からも注目を集めている。本研究では、外部からのキャリア注入により磁気輸送特性を発現させる非従来の手法の確立を目的とした物質開発を行い、スピン軌道相互作用に由来した特徴的な電子・スピン構造が化学元素置換により制御可能となる磁性強誘電体/常誘電体系 (Mn_xFe_x)WO₄ の純良単結晶の育成に成功した



MnWO₄ 及び Mn_{0.88}Fe_{0.12}WO₄ 単結晶試料の粉末 X 線回折ピークプロファイル

8 非自明な磁気構造を有するトポロジカル半金属 RAgGe (R = Dy, Tb) の単結晶育成

小松 達也

ZrNiAl 型構造を有する RAgGe(R:希土類)は非自明なトポロジを持つ電子バンド構造と希土類の種類に依存した複雑な磁気構造を併せ持つ磁性トポロジカル半導体であり、磁気秩序とトポロジの相関を研究する上で理想的な舞台である。本研究では、特に磁気構造の外部制御が可能な RAgGe (R=Dy 及び Tb) の単結晶試料を金属フラックス法により育成した。粉末 X 線回折パターンから純良な結晶育成に成功している事が明らかとなり、磁気輸送特性の解明をはじめとする今後の研究の進展に資する結果が得られた。

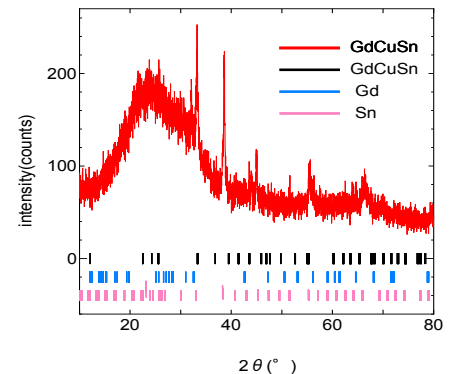


図. 本実験で育成した DyAgGe (左) TbAgGe (右) の単結晶

9 反転中心のない磁性トポロジカル物質の輸送特性

頼成 温隆

LiGaGe 型構造を持つ金属間化合物は、異なるタイプのトポロジカルノードが共存する物質系であり、ノード間の相関に起因する物理を明らかにする為の舞台として注目を集めている。その中で特に、希土類磁性元素を持つ $RCuSn$ (R : 希土類) は、ノード間相関と磁性の結合による電気磁気効果の発現など新奇磁気輸送特性が期待される系であり、本研究ではその解明を見据えて、金属フラックス法による $GdCuSn$ の単結晶育成を試みた。

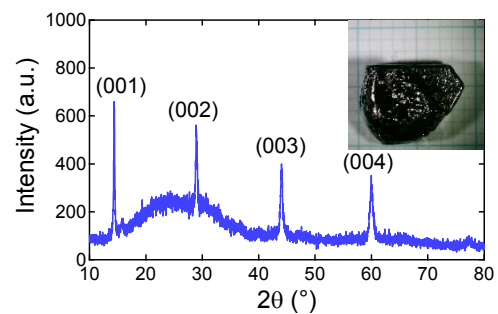


$Gd : Cu : Sn$ の比を 1:1:15 で合成し、得られた X 線回折ピークプロファイル

10 三重縮退点を有する三方晶 $PtBi_2$ の化学置換効果

服部 央弥

三方晶 $PtBi_2$ は結晶対称性により実現するエネルギー・運動量分散関係の三重縮退点を持つことが知られており、その縮退点近傍における状態は、固体中においてのみ発現する創発的準粒子として興味を持たれている。これら創発準粒子の物理を輸送特性により明らかにする為に、系のキャリア濃度の制御が不可欠である事が示唆されている。本研究では化学置換法によりこの問題の克服を試み、最外殻電子数の違いによるキャリア数制御をねらった $Pt_{0.95}Au_{0.05}Bi_2$ の大型単結晶試料育成に成功した。



$Pt_{0.95}Au_{0.05}Bi_2$ の単結晶試料（インセット）の X 線回折ピークプロファイル

原子過程科学教室

1 2 段デフレクターを用いた簡易質量分析法の提案

宇山 知里

本研究室では、イオン付着飛行時間質量分析法(TOFIA)を用いたフラグメントフリー質量分析法の開発を最終目的とした研究を行っている。TOFIA 法では、イオンのパルス化にイオン偏向法を用いるが、それが低速イオンである場合、質量分析部に進入するイオンは直線的な軌道をもたない。そこで本研究では、2 段デフレクターを用いる方法を考えた。C 言語を用いた様々な条件の下でのイオンの軌道計算の結果、この2段デフレクター方式は、直線的なパルスイオン導入に加え、質量分離を同時にできる簡易質量分析法となることが示された。

2 星間分子負イオン輸送率向上のためのイオン軌道シミュレーション

佐藤 来海

近年、真空など孤立環境下における分子の冷却過程の1つとして逆内部転換後に放出される「ポアンカレ蛍光」の存在が確認された。東邦大学原子過程科学教室ではポアンカレ蛍光精密分光を目指したイオン蓄積装置「T-POT」を開発しポアンカレ蛍光の詳細な波長データの取得を目指している。

本研究では分子の内部転換後に放出されるポアンカレ蛍光を観測するために、T-POT へのイオン輸送効率向上を目指す。ポアンカレ蛍光研究装置のイオン輸送部に用いる 90°イオン偏向部を 90°デフレクターと四重極偏向器のイオン輸送率をシミュレーションにより比較して、実際の T-POT に搭載するにはどちらが適しているかを検討した。また、アインツェルレンズをイオン輸送部に導入してイオン輸送の軌道修正を行った。実験で用いるイオンの運動エネルギーなどのパラメーターから偏向器の各部電極の電圧決定を行った。

3 高効率なイオンビーム輸送を目指したイオンビーム位置モニター製作

篠原 小雪

近年、宇宙空間のような孤立環境下での分子冷却過程として、振動励起状態から電子励起状態へ逆内部転換し、その後電子遷移のより蛍光（ポアンカレ蛍光）を放出する急激な冷却過程が確認され、星間分子の合成進化にも影響の大きい重要な事象と注目を集めている。

本研究では、光検出に特化したイオントラップ装置“T-POT”を用いたポアンカレ蛍光の精密分光を目指し、レーザーアブレーションを用いて生成したイオンの輸送効率改善に必要なイオンビーム位置モニターを導入、ビーム軌道を観察し、イオンビーム輸送の最適化を試みた。

4 散乱電子-イオン同時計測装置の装置改善と調整についての研究

野本 愛里

原子・分子は何らかのエネルギーを受け取ると、それを内部エネルギーとしてさまざまな励起状態へと遷移することがある。このうち分子の軌道内電子が、二つ同時に励起した二電子励起状態は不安定であり、分子イオンを生成する自動イオン化過程、それに解離を伴う解離性自動イオン化過程、あるいは中性解離過程により崩壊する。本研究ではこれらの崩壊過程の解明を目的とするためにメタン (CH_4) を対象に散乱電子-イオン同時計測に挑んだ。装置の調整を慎重に行い、 CH_4 の電子エネルギー損失スペクトルと飛行時間スペクトルを得ることができた。

5 散乱電子ー イオン同時計測装置によるメタン分子の解離過程の研究

山脇 優太

エネルギーをもった電子と衝突した分子は超励起状態となることがある。超励起状態は、イオン化しきい値よりも高い内部エネルギーをもつ状態で、イオン化解離、中性解離等によりエネルギー的に緩和する。本研究では、メタン分子のイオン化解離過程を明らかにすることを目的とし、メタンの電子衝撃実験を行った。生成された散乱電子とイオンを電子エネルギー分析器と飛行時間質量分析器で同時に検出する。この同時計測から、イオン化解離に必要なエネルギーとそれに対応するイオンの生成量をあわせて同時測定スペクトルを得ることができた。

6 反射型飛行時間質量分析のための単一イオン検出

貞金 実菜

質量分析計は現代社会において隕石の成分分析や医薬品の試験など様々なところで利用されている。その中でも原子や分子の質量を精密に測定できる手法の1つが飛行時間質量分析計である。しかし、飛行時間質量分析計ではイオンを形成する過程で同じ重さのイオンでも、飛行時間に差が出てしまう。その問題を解決するために開発されたものが反射飛行時間質量分析計である。本研究では反射型飛行時間質量分析計に用いる2種類の単一イオン検出器を準備・導入し、その性能についての評価を行った。

7 反射型飛行時間質量分析器の設計及び製作

山 采加

質量分析は医療や科学など様々な分野で利用されている。その中で、飛行時間質量分析器は加速されたイオンの飛行時間を測定しイオン種を同定するものである。電場によって反射される反射型飛行時間質量分析器は初期エネルギーのばらつきによる飛行時間の差を埋めることが出来る本研究では私が装置の設計を担当し、共同研究者である貞金がイオンの検出を行った。本論文では私が担当した設計及び装置でイオンを検出した結果の性能評価をする。炭素ターゲット及び洋白ターゲットの測定から得られた質量スペクトルを解析することによって、高精度な反射領域を作成することが出来た。

8 MRTOF 質量分析器による超ウラン核種精密質量測定のための同 A/q 質量参照イオン源の開発

笹沼 初音

超ウラン元素領域($Z > 92$)において、安定性の増大により半減期 100 年以上ともされる原子核の領域「安定の島」の存在が予言されている。安定の島の存在領域や最適な生成核反応の予測精度向上のため、原子核の安定性を直接反映した物理量である質量の当該領域における系統的な精密測定が必須である。現在、多重反射型飛行時間式質量分析器 MRTOF を用いた超重核の精密質量測定において、質量未知核の質量導出のためには質量既知核の同 A/q 質量参照イオンが不可欠である。本研究では、 ^{238}U - ^{294}Og などの超ウラン核種の 2 価イオン($A/q=119-147$)に対応する同 A/q 質量参照イオンを効率的かつ同時に生成するイオン源を開発し、イオン生成および飛行時間質量分析法によるイオン種の同定を行った。

9 炭素分子負イオン C_{10}^- の構造異性体分離に向けたイオン源製作とイオン輸送

佐藤 颯太

炭素分子負イオン C_{10}^- は、直鎖構造と環状構造が競合する最小の分子負イオンである。近年に星間空間で発見された巨大炭素クラスター C_{60} の生成モデルでは、直鎖から環状への構造異性化が生成過程に影響を与えると考えられ、 C_{10}^- が注目されている。本研究では、 C_{10}^- の構造異性体分離を目指したトラップ型イオン移動能装置の性能評価に使用するエレクトロスプレーイオン源 (ESI 源) の製作とイオンの真空中への輸送を行った。内径 0.19、0.3、0.5 mm の 3 種類の SUS 製キャピラリーを使用して ESI 源から真空中に引き込まれるイオン量と到達圧力を観測し、それぞれ平均 3 pA と 22 Pa、平均 39 pA と 80 Pa、平均 190 pA と 240 Pa となり、真空中へのイオン引き込みを確認することに成功した。