東邦大学

2019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

2020年2月13日（木）・14日（金）

発表会場
理学部Ｖ号館 1F 5103室

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。

場所：理学部 V 号館 1F 5103 室

2020 年 2 月 13 日（木）

	開会	9:00 ～ 9:05	
1.	物性理論教室	9:05 ～ 11:05	p1-4
2.	量子エレクトロニクス教室	11:15 ～ 12:39	p5-7
	----- 昼休み -----		
3.	原子過程科学教室	13:30 ～ 15:30	p8-10
4.	宇宙物理学教室	15:40 ～ 17:52	p11-13

2020 年 2 月 14 日（金）

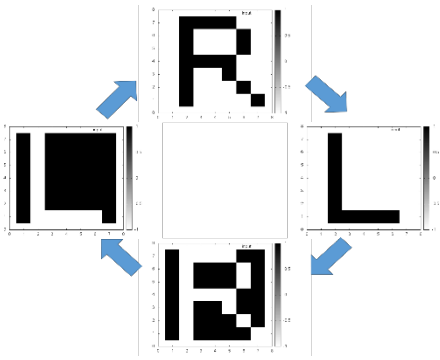
5.	素粒子物理学教室	9:00 ～ 10:36	p14-16
6.	磁気物性学教室	10:45 ～ 12:45	p17-19
	----- 昼休み -----		
7.	物性物理学教室	13:30 ～ 15:54	p20-23

物性理論教室

1　非対称なシナプス結合をもつ相互結合型ネットワークにおける想起

小野 正太朗

近年、人工知能が工学的分野にて応用されている。本研究では、非対称なシナプス結合をもつ相互結合型ネットワークにおける想起のプログラムの構築を目指した。また、非対称性パラメータ、ニューロンの総数、ネットワークのランダム性を変化させネットワークの性質にどのような影響があるかを調べた。一般的なヘッブ則を非対称なシナプスに対応させて、遷移確率によって状態を更新していく。その結果、ランダム性を導入することでネットワークの不確実性が確認できた。

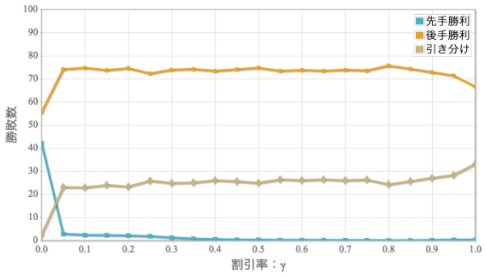


想起のサイクル過程

2　三目並べを用いた強化学習に対する研究

松山　昴

本研究では機械学習の一種である強化学習について、三目並べを題材に研究を行った。学習法、行動選択、割引率、報酬といったパラメータの最適パラメータを探すことを目的とした。先手/後手ともに同じニューラルネットワークを用い、勝敗数を通して最適なネットワークを探した。学習を何度も行い学習ごとに行動選択のパラメータを変化させることによって、先手／後手の勝率を改善することができた。

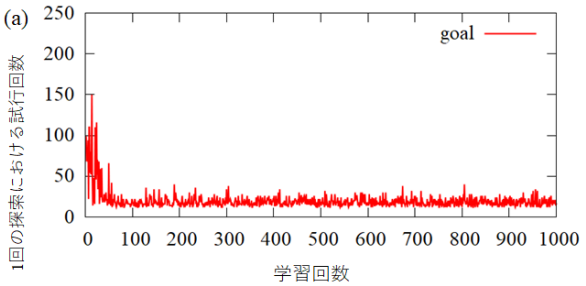


割引率γと勝敗数の関係
(ボルツマン法)

3　強化学習を用いた経路探索に対する数値的研究

石渡　皓介

近年、機械学習の中でも強化学習が特に注目されており、すでに多くの分野で利用されている。本研究では、8×8 マスの格子上に置かれたスタートからゴールへの経路探索を機械学習により行った。その結果、ニューロンの数を最大にした状態での学習は適切に行うことができたが、畳み込みとプーリング操作を利用してニューロンの数を減らした場合では適切な学習を行うことができなかった。原因としてはニューラルの重みを適切に更新できなかったことや、経路を保存するようなアルゴリズムが必要なのではないかと推測する。

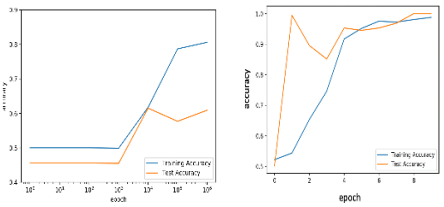


学習を重ねるごとに試行回数が少なくなっていることがわかる

4　Material Classification by Machine Learning

東田　真一

近年、物理を含む様々な分野で機械学習を利用するようになってきている。本研究では三元化合物の結晶掌性(キラリティー)、及び磁気超格子中のスピン波モードの分類を機械学習を用いて行った。その結果、キラリティーの有無を学習データは 81%、未知のデータは 64%の精度で判別できるようになった。一方で、スピン波のモードはバルクモードとエッジモードについて 98%の精度で判別することができた。また、精度は中間層の数の増加にあまり依存しなく、重複データを減らすことにより大幅に向上することがわかった。

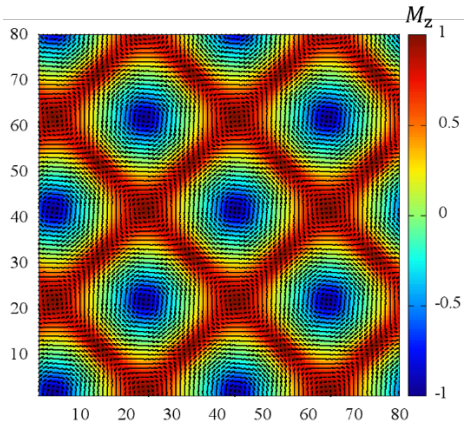


Chirality 判別の正答率（左）とスピン波のモードの分類の正答率（右）

5　非対称磁気スカーミオン状態に対する数値的研究

中野　大悟郎

磁性体が形成する磁化構造の 1 つであるスカーミオンはトポロジー的に安定した構造であり、壊れにくく、小さな電流で駆動することが出来るため、近年新たな情報担体として応用されることが期待されている。磁気異方性と呼ばれる効果をスカーミオンに導入した場合に新たな磁化構造が現れることが分かった。本研究では、その中でも 2018 年にローレンツ電子顕微鏡により観測された Meron, Antimeron と呼ばれる磁化構造を数値計算により再現した。

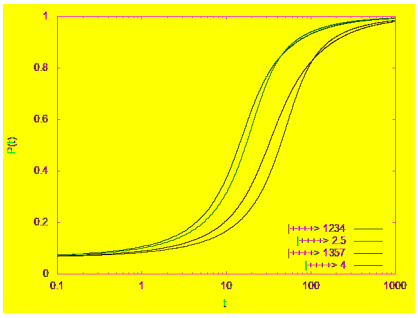


Meron, Antimeron の磁化構造

6　非一様磁場を用いた量子アニーリングの数値的研究

小林　美輝

近年、コンピュータでの計算を高速かつ高性能にする技術として量子アニーリングが注目されている。本研究では、イジング模型に横磁場を導入することで量子アニーリングを実行し、その有効性を調べた。スピン 4 つの強磁性体において、非一様な横磁場を用いることで収束の効率などを検証した。ハミルトニアンの時間発展を厳密対角化法を用いて計算し、横磁場を非常に大きな値から徐々に小さくすることで基底状態にいきつくようにした。横磁場を大きくすると基底状態とのオーバーラップは 1 に近づいたが、ある一定の値からは遠ざかると予想される。

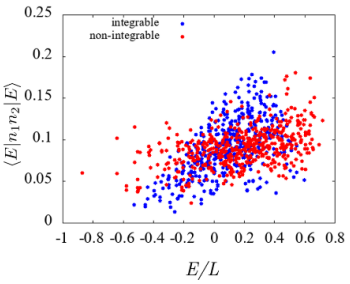


非一様磁場における基底状態とのオーバーラップ

7　固有状態熱化仮説の数値的研究

松島　主水

近年、量子力学的観点から熱平衡化を説明する動きが活発になっておりその中でも固有状態熱化仮説（ETH）は理論研究において熱平衡化の機構を解明する仮説として期待が寄せられている。本研究では ETH の数値的な検証を目的に研究を行った。具体的には hard-core bosons 模型のハミルトニアンを厳密対角化法で対角化することで、その固有値の分布を調べた。また、期待値の時間発展をミクロカノニカル平均の値と比較した。その結果，ETH は非可積分系のみで成り立つことが分かった。さらに粒子数とサイト数を変化させることで、熱力学的極限に近づく程、期待値が一つの値に収束することを示唆する結果を得た。

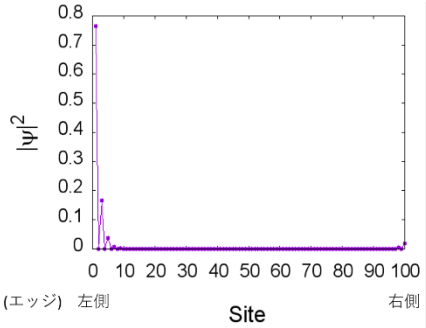


可積分系、非可積分系の固有状態における期待値の分布

8　1 次元系におけるトポロジカルなエッジ状態の数値的研究

井上　晴音

本研究では、ポリアセチレンの理論模型として知られている Su-Schrieffer-Heeger(SSH)模型を用いた数値的計算により、1 次元系におけるトポロジカルな端状態の振る舞いについて解析した。また、サイト間の重なり積分の大きさを変化させたときの振る舞いも数値的に調べた。SSH 模型では、端のホッピングが内側のホッピングより小さいときにのみエネルギーがゼロのエッジモードが現れた。このとき、エッジモードの波動関数が系の端に局在し、また、そのエネルギーはホッピングに乱数を加えても変わらないことがわかった。さらに、このモデルに 3 つ先のサイトにホッピングを加えた系についても、エッジ状態とバルクのトポロジカル量との関係について調べた。

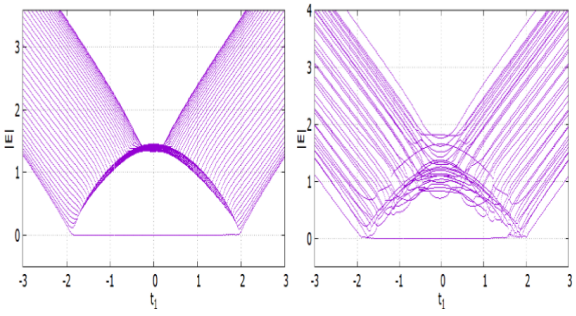


SSH 模型におけるエッジモードでの波動関数が左端に局在する様子

9　非エルミートな 1 次元トポロジカル系のエッジ状態の安定性

保　亮一朗

本研究では非エルミートな SSH モデルに対して、ランダムな摂動を加えた際にトポロジカルに保護されたエッジ状態がどのように振る舞うかを調べ、非エルミート系におけるバルクエッジ対応が成立していることの確認を目的として、計算を行った。その結果、エッジ状態は各サイト間のホッピング項にランダムな摂動を加えた場合には強く保護されていたが、各サイト上のポテンシャルにランダムな摂動を加えた場合にはあまり強く保護されないことがわかった。バルクエッジ対応については、バルク系の winding number がエネルギースペクトル内のゼロエネルギーエッジ状態の有無に対応していることを確認することができ、様々なパラメータについての相図を得ることができた。

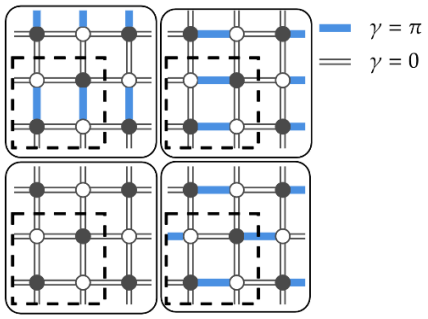


非エルミートな SSH モデルのエネルギースペクトル(左)と摂動を加えた場合のエネルギースペクトル(右)

10　2 次元ディラック電子系における Z_2 Berry 位相による量子相の分類

青柳　克

Berry 位相によって 2 次元ディラック電子系の量子相を分類する。使用するトポロジカル秩序変数は、すべてのボンドに対し、複素平面上の単位円上のパラメータによる 0 またはπの Berry 位相（ Z_2 Berry 位相）を割り当てたものである。2 次元ディラック電子系であるπフラックスを持つ正方格子模型をもとにした、エネルギーギャップのある模型を用意し、数値計算を行った。結果、各模型の量子相を分類でき、トポロジーの視点で見られる関係を表すことができた。また、Berry 位相がどのように変化するかを調べることで、Berry 位相のパラメータによってどのように準位が交差しているかを調べることができた。



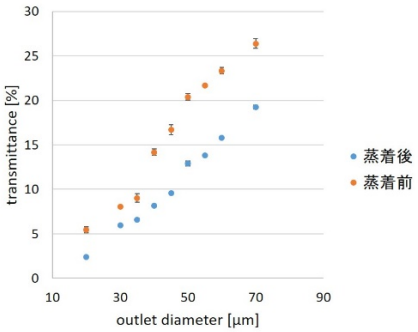
Berry 位相 γ で表される量子相

量子エレクトロニクス教室

1　ガラスキャピラリー外壁の銀蒸着によるレーザーマイクロビームの透過率の影響

中川　拓巳

テーパー型ガラスキャピラリー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。数十 μm の出口径をもつガラスキャピラリーに波長 375 nm の紫外線レーザーを通過させ、出射されたレーザーマイクロビームの強度を測定した。遮光法としてガラスキャピラリーの外壁に銀を蒸着させ、レーザーマイクロビームの透過率を求め、膜厚の影響を調べた。測定の結果、すべての出口径において蒸着によってキャピラリーが遮光され透過率が 2~3 割程度減少することが確認できた。

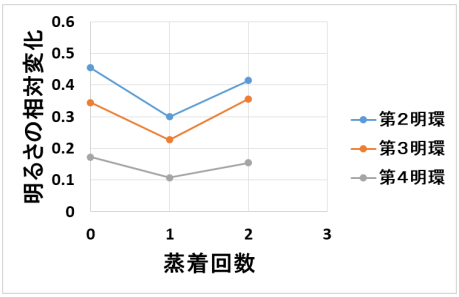


出口径ごとの蒸着前後の透過率

2　ガラスキャピラリー外壁の銀蒸着による透過縞への影響

浅野　早弥花

ガラスキャピラリー光学系（出口内径 50,60,70 μm）に波長 375 nm のレーザーを通過させレーザーマイクロビームを生成し、蛍光ビーズスクリーンを用いて透過縞の観測を行った。テーパー部分から漏れ出す光の遮光のため、ガラスキャピラリーの外壁部分に真空蒸着装置を用いた銀線による蒸着(1 回蒸着時の膜厚およそ 39 nm)を 2 回行い、蒸着前後における透過縞への影響を調べた.。その結果、高次の透過縞の強度が出口内径、蒸着回数、透過縞の次数に依存していることが明らかになった。

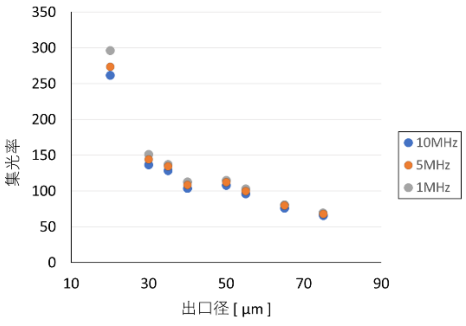


出口内径 50 μm の第 1 明環に対する各明環の明るさの相対変化

3　ガラスキャピラリーにおけるパルスレーザーマイクロビームの透過特性

三宮　圭人

テーパー型ガラスキャピラリー光学系(出口径 20μm～75μm)に波長 405nm のパルスレーザーを透過させ、出射されたマイクロビームの平均パワーを測定した。得られた平均パワーから透過率や集光率、パルスエネルギー、ピークパワーといった様々なパラメーターを算出し、パルスレーザーによるガラスキャピラリーの透過特性について調べた。結果、集光率が最大で 69.41 倍もの値が得られ、テーパー型ガラスキャピラリーはパルス光の集束やパルス光マイクロビームの生成にも優れていることが確認できた。

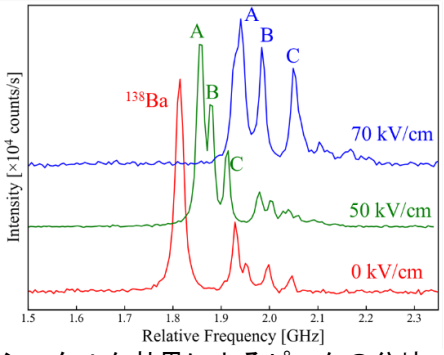


各繰り返し周波数における出口径ごとの集光率

4　2 電子原子 Ba の高励起状態のシュタルク効果の研究

野崎　昌志

本研究では、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により超微細構造とシュタルク効果を観測している。Ba 原子の $6s5d\ ^3D_3 - 5d6p\ ^3F_4$ 遷移のスペクトルの観測を行い、超微細構造スペクトルを測定した。また、70.0 kV/cm まで電場を印加し、同遷移のシュタルク効果の観測を行った。そのシフト及び分岐からテンソル分極率を-35.3±0.8 kHz/(kV/cm)^2、同遷移のスカラー分極率を-87.7±2.9 kHz/(kV/cm)^2 と決定した。また、本実験では、レーザーの散乱光などによるノイズを軽減するために、直線偏光板を導入し、S/N 比が約 9 倍向上した。

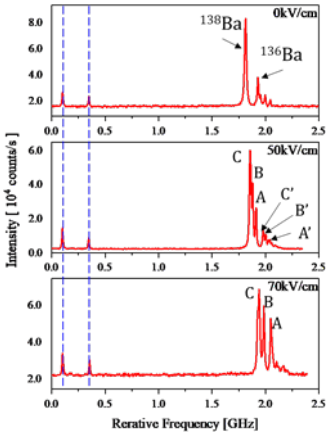


シュタルク効果によるピークの分岐とシフト

5　Ba の安定同位体を用いた$5d6p\ ^3F_4$高励起状態におけるシュタルク効果の研究

青木　侑弘

シュタルク効果は、原子と外部電場との相互作用によって生じる現象であり、基礎研究として重要なテーマである。本実験では、2 電子原子系である Ba の安定同位体を用いて、外部共振器型半導体レーザーにより、最大 70.0 kV/cm の高電場を印加することで$5d6p\ ^3F_4$高励起状態のシュタルク効果を調べ、エネルギーシフトを測定した。測定したエネルギーシフトから、偶同位体 ^{138}Ba、^{136}Ba における $5d6p\ ^3F_4$ 状態のテンソル分極率、$6s5d\ ^3D_3 - 5d6p\ ^3F_4$ 遷移におけるスカラー分極率をそれぞれ－35.3(8) kHz/(kV/cm)^2、－87.7(29) kHz/(kV/cm)^{2}と決定した。

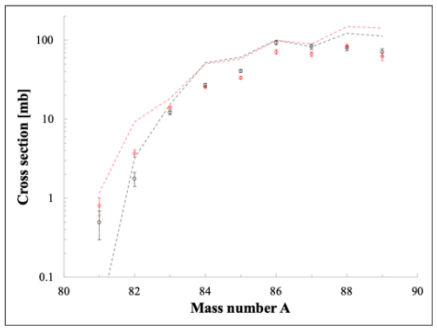


観測されたシュタルク効果の様子

6　核分裂生成核種 ^{90}Sr の陽子および重陽子誘起反応に関する研究

松村　理久

^{90}Sr(半減期 28.8 年)は高レベル放射性廃棄物の主要な成分であり、熱中性子捕獲反応では核変換しにくいことで知られている。核変換に用いる反応としては中性子捕獲以外の反応が相対的に有効となることが期待されるが、合理的な核変換プロセスを検討するための基礎的な反応データはほとんど取得されてこなかった。このような状況を背景に、私たちは ImPACT「核変換による高レベル放射性廃棄物の大幅な低減・資源化」のテーマである、LLFP(^{79}Se, ^{93}Zr(^{90}Sr), ^{107}Pd, ^{126}Sn, ^{135}Cs(^{137}Cs))に対する陽子・重陽子誘起反応による測定を逆運動学法を用いて行ってきた。本発表では、これらの測定のうち ^{90}Sr に対する核子あたり 104 MeV/u の反応データを紹介する。

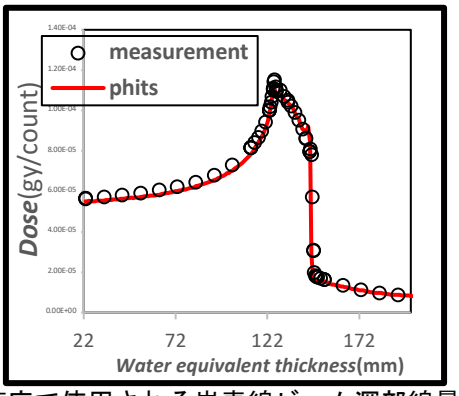


^{90}Sr 同位体について。黒が陽子、赤が重陽子、点線が PHITS 計算による予測である。

7　炭素線治療後の二次がんリスク予測システムにおけるビームモデリングと実験的検証

相馬　陽平

本研究では、CIRT を受けた患者の照射野外線量を算出するために開発されている DICOM2PHITS で使用するための炭素線治療拡大ビームラインのモデリングと実験的検証を行った。DICOM2PHITS は炭素線治療装置の複雑な形状を詳細に模擬し、患者個々の CT データ（DICOM データ）を用いて患者体内の線量分布を推計可能とするモンテカルロコード：PHITS(Particle and Heavy Ion Transport code System)を元にしたモンテカルロ線量評価システムであり、照射野内外の線量を高精度に計算することができる。深部線量分布の検証では、実験値と PHITS の飛程の差が 0.76mm 以下で分布が一致することを確認した。側方線量分布の検証では全てのモデリング条件で PHITS が過小評価領域を確認した。これは PHITS のクーロン多重散乱近似計算が原因であることを実験的に確認した



臨床で使用される炭素線ビーム深部線量分布の実験値と PHITS の比較

原子過程科学教室

1　電子衝撃を用いた希ガスの Fano 効果の観測

高徳　駆

原子には第一イオン化しきい値以上のエネルギーをもつ励起状態がある。副殻励起や二電子励起などはその典型例であり、それらは連続状態の中に埋もれて、散乱電子のエネルギーの損失スペクトルのプロファイルが特徴的な形状を示すことがある。これは量子力学的な干渉よるもので、Fano 効果と呼ばれている。本研究では Fano 効果によるプロファイルが入射電子エネルギーや散乱角でどのように変化するかを観測することを目的として電子エネルギー損失スペクトルを得た。その結果、スペクトル上に Fano 効果に特徴的な非対称な構造を確認することができた。

2　直交型イオン付着質量分析装置を用いた呼気の定量分析

木村　詩織

呼気分析とは呼気に含まれる成分を分析し、健康状態や疾患を調べる身体に無侵襲な診断方法の一つである。本研究室で開発されたイオン付着飛行時間型質量分析装置は、対象試料分子を壊さないフラグメントフリーな装置であるため呼気分析に適している。これまでに定性分析には成功してしているものの、定量的な測定のためには呼気中の各成分に対する検量線が必要である。本研究では定量分析の第一歩として、呼気中の疾患と関係がある物質の中で検出効率の良いアセトンの検量線を得ることを目的とし、再現性のある条件の下で実験を行った。

3　イオン付着飛行時間型質量分析装置の安定化のための研究

大塚　拓哉

本研究室で開発されたイオン付着飛行時間型質量分析装置は、気相の試料分子を壊さず(フラグメントフリー)に検出可能な装置である。これまでに、フラグメントフリーな測定であること、定性的な測定は可能であることが確かめられている。しかし、実験条件により検出されるイオン量が変動するなど定量的な測定については不安がある。本研究では、定量測定に不可欠な装置の安定化を目指した研究を行った。その結果、N2 ガスを 100Pa 導入してからフィラメントの電流を上げることで検出されるイオン量の変動が抑えられ再現性が良いことがわかった。

4　散乱電子―イオン同時計測による水素分子の解離反応の研究

岩橋　拓也

本研究室では、散乱電子―イオン同時計測法を用いて水素、重水素化水素、重水素などの二電子励起状態の崩壊過程の解明を目的とした研究が行われてきた。二電子励起状態の主な崩壊過程は自動イオン化と自動イオン化解離、中性解離であり、解離の時間スケールが競争過程にあるためその分岐比は興味深い。散乱電子―イオン同時計測実験では、散乱電子のエネルギーを特定してイオンの信号を蓄積するが、生成イオンが多いため S/N 比が悪くなる。本研究は、S/N 比の改善を目指して電子のパルス幅の最適化を行い、重水素について追実験を行った。

5　シリコンドリフト検出器を用いた創傷部プルトニウム汚染評価法

上床　哲明

核燃料取扱施設では、プルトニウムによる汚染を伴った創傷を負う可能性がある。その際、従来の汚染検査には放出されるα粒子を計数するα線計測法が用いられている。しかしα線は組織や血液によって容易に遮蔽されるため測定が困難になる場合がある。本研究では針刺し傷を想定したモデルを用い、プルトニウムの核壊変後に放出される特性X線をシリコンドリフト検出器で計測することにより、汚染量と汚染箇所の深さ、元素を決定することができる手法を開発した。

6　炭素鎖分子負イオン C_8^-のポアンカレ蛍光放出速度シミュレーション

楠　真成

真空中のような孤立環境における分子の冷却過程として、振動励起エネルギーが電子励起に変換される逆内部転換の後、電子遷移により可視光を放出して一気に冷却が進む『ポアンカレ蛍光』の存在が炭素系分子負イオン C_4^-、C_6^-を中心に近年確認された。この速い冷却により、生成直後の高温で不安定な分子負イオンも電子脱離前に十分冷却が進み生存し得る。本研究では、より重い炭素分子負イオン C_8^-についてポアンカレ蛍光放出速度による冷却速度をC++言語を用いて数値計算し、実験値と比較した。

7　孤立環境下の C_8^-が放つ「ポアンカレ蛍光」の放出速度測定

喜馬　佑妃

宇宙空間のような孤立した環境下にある高振動励起状態の分子冷却過程において、振動励起エネルギーが電子励起エネルギーに転換される逆内部転換を経て放出される「ポアンカレ蛍光」が C_4^-、C_6^-を中心に次々と発見された。ポアンカレ蛍光は、遷移強度が振動輻射に比べて強く遷移エネルギーも大きいため冷却が急速であり、宇宙空間の分子進化に影響するため詳細測定が望まれている。本研究では静電型イオン蓄積リングを用いて、より重い炭素分子負イオン C_8^-のポアンカレ蛍光に起因した冷却速度を内部エネルギーごとに測定した。

8　ポアンカレ蛍光精密分光のための集光光学系および蛍光検出系整備

菅野　貴之

孤立環境下における分子の冷却過程は宇宙空間での分子進化を考える上で重要である。近年、逆内部転換(振動励起状態から電子励起状態への遷移)後に「ポアンカレ蛍光」を放出する冷却過程の存在が確認され、分子ごとのポアンカレ蛍光スペクトルなどの詳細測定が期待されている。しかし、ポアンカレ蛍光の観測強度は非常に弱いので、イオントラップ領域(数 mm)からのポアンカレ蛍光を高効率集光するために光学系の調整(mm 以下)が求められる。そこで、本研究では集光光学系の集光効率について評価を行った。

9　ポアンカレ蛍光精密分光装置の高周波回路開発

秋山　芽衣子

孤立環境下の分子・イオンでは、高振動励起状態の分子が電子励起状態へと遷移する逆内部転換を経て放出されるポアンカレ蛍光により急速に冷却されることが近年確認された。分子サイズや内部エネルギーの違いにおけるポアンカレ蛍光の特性などの詳細研究を行うため、当研究室では線形四重極 RF イオントラップ装置を用いた精密分光装置の開発を行っている。本研究ではイオンを低速化し高効率なトラップを実現すべく、周波数：5 MHz、電圧：－400±1000 V の高周波高電圧をイオントラップ電極に印加可能な電圧回路の製作を行った。

10　星間分子負イオンのイオントラップ蓄積に向けたビーム輸送

宮里　桃

宇宙空間のような孤立空間における、負イオンの冷却過程は振動輻射冷却と電子脱離冷却の 2 過程であると考えられていた。しかし近年、分子内の振動エネルギーが電子励起エネルギーに転換される逆内部転換後に起こるポアンカレ蛍光の存在が確認された。この急速な冷却過程は宇宙空間での分子合成進化過程など広い分野に関連した事象である。本研究では、ポアンカレ蛍光の放出速度や蛍光スペクトルの詳細測定実験において必要となるレーザーアブレーションを用いた炭素鎖分子負イオン C_{2n}^- の生成、飛行時間質量分析（TOF）およびイオントラップへの輸送を行った。

宇宙物理学教室

1　連星中性子星合体で形成される大質量中性子星の合体後振動における重力波シミュレーション

浅川　直道

中性子星(NS)は中心密度が10^{15} g/cm^{3}以上にも達する高密度天体である。NS の構造を調べ状態方程式(EOS)を決定することは、実験で到達困難な超高密度下での物質の振る舞いを知るために重要だと考えられる。NS の構造、翻って EOS を調べる手段に連星中性子星合体からの重力波があり、特に連星合体後振動の重力波の特徴的周波数は高密度域の EOS に依存することが分かっている。そこで本研究では近似的だが計算効率に優れた 1 次元一般相対論的流体計算コードを用いて特徴的周波数の EOS 依存性を明らかにし、中性子星の質量と半径の間の相関を調べた。

2　拡張重力理論とその検証について

窪田　圭一郎

一般相対性理論は発表以来 100 年以上の間、重力場を記述する最適な理論だと考えられている。しかし、重力の量子効果や宇宙の加速度膨張の解明には一般相対性理論の拡張が必要かもしれない。本論文では一般相対性理論を超えた拡張重力理論とその検証方法について調べた。その検証方法として計量を重力ポテンシャルで展開したときの係数をパラメータで表す PPN 形式、重力波の偏波、重力波波形の係数をパラメータで表す PPE 形式について調べた。その結果、今後の発展が期待できる重力波が有望な手段であることがわかった。

3　General Relativistic Ray-Tracing Code for Black Hole Shadow

小林　雪乃

2019 年イベントホライズンテレスコープによるブラックホール(BH)の直接撮像によって、いわゆる BH Shadow の観測がなされ BH 研究の新分野が拓かれた。そこで本研究では、Schwarzschild BH 周りの光子の振る舞いを調べ、BH Shadow をシミュレーションするためのコードを作った。具体的には光子の測地線方程式をルンゲクッタ法で解き、極座標における座標特異点の数値的取り扱い、一般相対論に特有の Tetrad の適用といった点を解決してコードを作成した。その結果 BH 時空の任意の点から任意の方向に飛ぶ光子の軌道の追跡に成功し、本研究によって BH Shadow をシミュレーションするための準備が整った。

4　J-GEM によるキロノバのフォローアップ観測

田中　亮哉

2015 年に初めて重力波の直接観測は重力波天文学の幕開けとなった。更に、2017 年に連星中性子星からの重力波とそれに伴う電磁波対応天体が観測されこれらのマルチメッセンジャー観測によって中性子星の状態方程式への制限や、重元素の起源の謎に迫る結果が得られた。2019 年 4 月より開始された重力波観測の O3 フェイズではさらなる成果が期待されている。そこで、本研究では日本の重力波観測チームである J-GEM に参加し、重力波アラートのチェックおよび観測画像の解析を行った。本論文では、O3 で観測された GW190425z の質量の同定や GW200114f の解析に貢献した内容についてまとめた。

5　バリオンとダークマターの相対速度を考慮した密度ゆらぎの進化の解析

安田　萌乃

宇宙の晴れ上がり直後にバリオンとダークマターの間に相対速度が存在することが示唆されている。本研究では、この相対速度を考慮した密度ゆらぎの方程式を導出し、バリオンとダークマターの線形密度ゆらぎの進化を数値的に解いた。その結果、相対速度が存在しない場合には、解析的に見積もられたジーンズ質量付近を境に確かにバリオン密度ゆらぎの成長が抑制された。一方で、30 km/s 程度の相対速度が存在する場合には、バリオン密度ゆらぎの成長が抑制される臨界質量が 2 桁以上大きくなることがわかった。

6　密度ゆらぎの確率分布の時間発展

土田　皐生

宇宙論的重力多体計算の結果に基づき、密度ゆらぎの確率分布の時間発展を調べた。その結果、密度ゆらぎの確率分布は正規分布から対数正規分布へと変化した。この分布の変化を定量的に見ると、標準偏差が0.2～0.3になると尖度と歪度の値は1を超えることがわかった。つまり、非線形性が弱い段階から密度ゆらぎが正規分布から有意に外れることを示唆している。また、初期に同一の値を持つ密度ゆらぎの時間発展を調べると、デルタ関数から正規分布、対数正規分布へと確率分布が遷移し、単純な線形理論では説明できないことがわかった。

7　ダークマターハローの非球対称性と Splashback Radius

岡戸　悠一郎

宇宙論的重力多体計算からは、ダークマターハローの外縁部で物質密度が急激に下がる場所(Splashback Radius)が、ハローの物理的境界として示唆されている。ただし、先行研究では個々のハローに球対称性を仮定しているので、本研究では非球対称性を考慮した解析を行った。その結果、全てのハローにおいて、長軸方向と短軸方向それぞれで Splashback Radius の存在が確認できた。また従来から指摘されていた Splashback Radius と質量降着率の間の相関関係は、非球対称性を考慮した方が強まることがわかった。

8　ALMA 望遠鏡による遠方銀河団 XMMU J2235.3-2557 のスニヤエフ-ゼルドビッチ効果測定

石井　希実

スニヤエフ-ゼルドビッチ(SZ)効果の放射強度は距離によらないため遠方の銀河団の観測に有利であり、高温ガスの圧力分布の直接測定に繋がる。本研究では、ALMA 望遠鏡で観測された赤方偏移 z = 1.39 の銀河団 XMMU J2235.3-2557 のデータ解析を行い、圧力分布を調べた。その結果、SZ 効果が 5σ 以上の統計信頼度で検出された。また、この天体の圧力分布は低赤方偏移(＜z＞=0.1、0.2)の銀河団よりも明らかになだらかであり、中間赤方偏移(＜z＞=0.8)の銀河団とはよく一致することがわかった。このことから、宇宙が誕生して 45 億年から約 20 億年間は銀河団ガスの圧力分布がほぼ変化せず、その後の約 40 億年間で大きく変化したと考えられる。

9　弾丸銀河団における衝撃波面周辺の物理的環境

大工原　一貴

ALMA によって取得された Sunyaev-Zel'dovich(SZ)効果の観測データを用いて弾丸銀河団(1E 0656-56)の衝撃波面周辺を調べた。その結果、コンプトンyパラメータ $\Delta y = (5.83 \pm 1.02) \times 10^{-5}$に対応する圧力のギャップが$5.7\,\sigma$ の統計信頼度で検出された。このギャップの位置は、従来 X 線観測で示唆されていた衝撃波面と非常によく一致した。また、SZ 効果と X 線の観測結果の組み合わせから、衝撃波面下流域の電子温度5.5 ± 2.7 keV、マッハ数$\mathcal{M} = 1.9 \pm 0.2$が得られた。このマッハ数は X 線データのみから得られた値よりも低い。その原因としては、衝撃波面下流域において電子温度がイオン温度に追い着いていない可能性が考えられる。

10　光子計数型強度干渉計の実現に向けた検出器の設計

河原　沙帆

テラヘルツ波帯域で高空間分解能の観測ができる新しい方法として、光子計数型強度干渉計が挙げられる。本研究では光子計数を目指し、3 次元電磁界解析ソフトを用いたシミュレーションで、検出器の量子効率を良くし、キャパシタンスを小さくできる設計にすることを目指した。その結果、伝送線路からの放射による損失を減らし、入力電力に対する SIS 素子の量子効率を 70%から 80%に上げることができた。また、検出器のキャパシタンスはシミュレーション結果を用いた計算から、376fF から 22fF まで下げられることが分かった。

11　テラヘルツ光子計数型検出器の開発に向けた回路設計および回路の評価

野地　涼平

光子計数型テラヘルツ強度干渉計に搭載する SIS 検出器を運用するために FET(Field-Effect Transistor)を用いた読出し回路の開発を行った。FET の候補に挙がる GaAs-JFET、J-PHEMT の I-V 特性とゲートリーク電流の温度特性を調べ、雑音について検討した。その結果、共に極低温下におけるゲートリーク電流は 1pA より小さく、J-PHEMT の雑音は GaAs-JFET よりも小さいことが期待される。しかし、J-PHEMT は極低温でキンク現象が発生し、ゲートリーク電流が 100pA 以上超えるためドレイン電圧を 1V に制限する必要がある。J-PHEMT を用いた 2 段のソースフォロワー回路(0.8K と 4K)を設計し、消費電力の制限とインピーダンス整合の条件を満たすことができる。

素粒子物理学教室

1　NaI(TI)シンチレータを用いたγ線のエネルギースペクトル測定と再現

泉　咲夏

環境放射線のある作業下において、γ線の遮蔽を検討する際に手間と時間がかかってしまう。そこで、γ線のエネルギーを特定した上で実験をせずとも遮蔽方法を検討できるシステムの作成を目指す。比較対象として測定データを用いるために、FPGA ボードと NaI シンチレータを用いて ^{137}Cs のγ線のエネルギースペクトル測定と較正を行った。結果、後方散乱スペクトは 200keV のピークを持つことが分かった。次に、シミュレーションに床板を追加し、測定結果と比較したところ、床板がない場合は後方散乱スペクトルが見えず、床板を考慮すると後方散乱スペクトルは 220keV のピークを持った。このことより、床板を再現することでより正確な測定データに近づくことが分かった。

2　効果的な宇宙放射線防護のための CR-39 固体飛跡検出器を用いた遮蔽効果の検証

小池　将宗

宇宙船内での放射線防護のために遮蔽材料を用いた宇宙放射線の線量低減効果を受動線量計を用いて宇宙および地上実験で評価した。受動線量計として光刺激ルミネッセンス検出器と CR-39 固体飛跡検出器を使用した。宇宙実験では衛生的な拭き取り布およびタオルから成るスタック状の水遮蔽材の設置による宇宙放射線の線量低減効果を国際宇宙ステーションで測定した。水遮蔽材を用いたことによる線量減少率は線量当量で 40±3%であった。また地上実験では、入射エネルギーが 230MeV の陽子ビームおよび 500MeV/n の鉄核ビームを用いた SiC/C 複合材料の遮蔽効果を受動線量計により測定した。強化材の割合を変化させ、宇宙船のペイロードに合わせた組成比にすることで体積と質量のバランスの取れた効果的な遮蔽材を作ることができる。今後、C や Si などの核破砕が支配的な粒子の遮蔽に関する実験や数値計算を行っていく。

3　Ashra/NTA 実験における大気蛍光観測のためのトリガー系の開発

横川　まゆ子

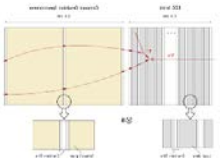
Ashra（全天観測高精度宇宙線望遠鏡）実験では、超高エネルギーニュートリノを発生源とするチェレンコフ光・大気蛍光の観測によって高エネルギー粒子の発生起源の同定や加速機構の解明を目指している。本研究では銀河中心を発生源とするガンマ線バーストのチェレンコフ光観測、および超高エネルギータウニュートリノを一次粒子とする空気シャワーを発生源とする大気蛍光の観測を見据え、シミュレーションを用いたロジックの検討およびトリガーボードとして用いる DSP モジュールの回路検討を行った。その結果、ガンマ線を一次粒子とする空気シャワー発達の入射角度依存について予想と一致する結果を得ることができた。また、DSP モジュールに搭載するトリガー系の開発を行った。今後は、暗箱と大気蛍光を模した LED による試験観測・山梨県の観測所にてレーザー光を用いた試験観測を行い、Ashra/NTA 実験への実装を目指す。

飛跡認識回路ボード

4　SHiP 実験に向けたコンパクトエマルションスペクトロメーターの詳細解析

浅川　龍征

SHiP(Search for Hidden Particles) 実験は、ν、νの識別を行い詳細な研究を行うことを目的の一つとした国際実験である。ニュートリノ検出器である CES は、ニュートリノの崩壊による荷電レプトンを磁場により電荷識別することでν、 ν の識別が可能となっている。荷電粒子の電荷識別にはサブミクロンの測定精度が求められており、2017 年に CERN にて性能評価のためのビーム照射テストが行われた。解析した結果、一定の照射面積内でのみ要求される精度を満たしていたが、より広い面積、入射角度において精度の高い解析を行うために小面積ごとに分割して解析を行った。

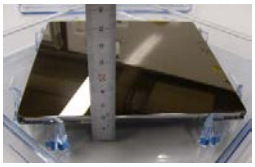


ECC と CES

5　フォトマスクを用いた乾板の歪み測定

金子　健蔵

SHiP 実験とは GeV 範囲の質量を持つ Hidden Particles の存在を調べることを目的としている。東邦大学ではニュートリノ・反ニュートリノ識別と運動量測定を目的としたニュートリノ検出器 Compact Emulsion Spectrometer(CES) の開発を行っている。先行研究では、2017 年に 200μm のガラスベース乾板の測定を sys3 を用いて行った。高運動量のエネルギーを求めるために乾板の精度がどれほどあるかを調べなければならないので、本研究では 2019 年の 500μm のガラスベース乾板を FTS を用いて測定を行い先行研究である 2017 年の時に使用された 200μm のガラスベース乾板との測定方法、厚みによる伸び縮みの変化の比較をフォトマスクによって焼き付けられたグリッドマークを用いて行う。ECC の各プレートの測定を行いグリッドマークの位置から熱膨張などによるズレを調べる。

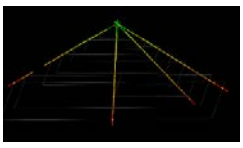


フォトマスク

6　NINJA 実験における反ニュートリノのニュートリノ反応の探索と解析

高阪　幸雄

NINJA 実験では、ニュートリノ振動実験において困難とされている、低エネルギー帯の反応断面積の精密測定を行うことを目的としている。位置分解能を有する原子核乾板と鉄が交互に積層された検出器に反ニュートリノビームを照射する。この原子核乾板を現像し、全自動飛跡読み取り装置を用いて、飛跡データを取得した。本実験では、この飛跡データより反ニュートリノ・原子核反応事象の検出と解析を行う。

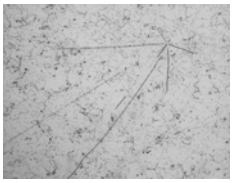


Display 上に再構成したイベント

7　NINJA 実験-RUN6 における反ニュートリノ反応の解析

宅間　考紀

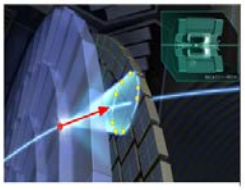
現在ではニュートリノ振動による CP 対称性の破れについての研究や、ニュートリノの質量や反応断面積の測定を目的に含んだニュートリノ振動実験が数多く行われている。これまでの実験では、電気検出器を用いていたため、低エネルギー陽子を検出できておらず、MeV～GeV 領域でのニュートリノ反応断面積の測定結果を統一的に説明できるモデルがない。NINJA 実験では、空間分解能、粒子識別能力に優れた原子核乾板を用いることで、低エネルギー陽子の検出を可能とし、ニュートリノ-原子核の反応断面積の精密測定を目的としている。本研究では NINJA 実験の RUN6 のデータを用いて反ニュートリノ-原子核反応事象の解析を行った。


反ニュートリノビーム時の鉄中反応

8　Belle II 実験 ARICH 検出器のモニターシステムによる性能評価

村田　仁慈

Belle II 実験で用いられる ARICH 検出器は入射した粒子が発生させるチェレンコフ光によって K/π 識別を行う。ARICH 内の光子検出器は加速器から生じる放射線よって劣化するので光子検出能力を評価するためのモニターシステムとして LED run 機能が搭載されている。実装されてから初の LED run による ARICH 全体の光子検出効率の評価を行った。結果はデータが取れた検出器に対して検出効率 80%以上が 87.5%，検出効率 50% 未満が 5.8% であった。そこから LED run の設定により光量を多くすることで光子検出能力の評価と 1 光子に対する電子への変換率(gain) の評価を改善できないかを検討した。光量を増加させるとペデスタルの不安定性が大きくなり、光子検出効率の評価の改善にはならなかった。光量の増加により 2 光子目のピークを観測でき、gain の評価につなげられないか検討した。


チェレンコフリングのイメージ図

9　μ^+、μ^- 対生成のシミュレーションを用いた特定の HAPD の有無による K/π 識別性能の比較

宮崎　実樹

Belle II 実験で用いられる ARICH 検出器を構成する HAPD は B 中間子、反 B 中間子の崩壊時に放出される K 中間子、π 中間子が物質中の原子と反応する際に放出するチェレンコフ光を検出し、そのリングの大きさの違いからどちらの崩壊が起こったのかを識別する。つまり、HAPD の精度が高いほど、崩壊の識別の精度が高くなる。そこで本研究では、ARICH 検出器全体に対してある特定の HAPD を含む場合とそうでない場合でどれほどの検出効率を持つのかを調べることにした。まず、プログラムを作成し、異常な HAPD のチャンネルの特定を行った。次に、それぞれの場合においてシミュレーションを行い、K/π 識別性能がどれほどなのか求めた。その結果、どちらも実験を行う際の条件値を満たしていたが、特定の HAPD を含まない場合、性能が下がることが分かった。

磁気物性学教室

1　高濃度アモルファス Heisenberg スピングラス a-Gd_xGe_{100-x}の作製と磁気的性質

野田　誠

当研究室ではスピングラス(SG)の相転移機構解明のため、磁気異方性のごく小さな Heisenberg SG 磁性体を探索し、この結果アモルファス(a-)GdSi、a-GdGe は異方性が小さく分子場理論で予想される形の H-T 相図を持つことを見出した。昨年の結果では a-GdSi より a-GdGe は Gd の濃度が高くなっても SG を保っていることが分かっている。そこで本研究では a-GdGe で Gd 高濃度側の磁気的性質を調べた。その結果 a-GdSi と異なりキュリーワイス温度θがx~35 付近よりθは負で大きくなるような変化を示した。

2　高濃度アモルファス Heisenberg スピングラス a-Gd_xGe_{100-x}の磁気相転移

加藤　秀和

複雑系のプロトタイプであるスピングラス(SG)の本質的な相転移機構解明の為には磁気異方性の小さな Heisenberg SG 磁性体が必要となる。最近、我々はアモルファス(a-)GdSi や a-GdGe の異方性はごく小さい事を見い出した。昨年度、a-Gd_xGe_{100-x}の Gd 濃度xによる磁気相図を調べたところ、GdSi ではxが 50%付近で強磁性になるのに対し GdGe はxが 80%付近で強磁性になることが分かった。本研究では、GdSi ではみることができなかった Gd 濃度が高濃度での SG の性質について調べた。この結果、$x > 35$よりキュリーワイス温度が負に大きくなる傾向があることが分かった。

3　A サイトを乱したスピンアイス化合物$(Dy_{2-x}La_x)Ti_2O_7$の単結晶作製と磁気測定

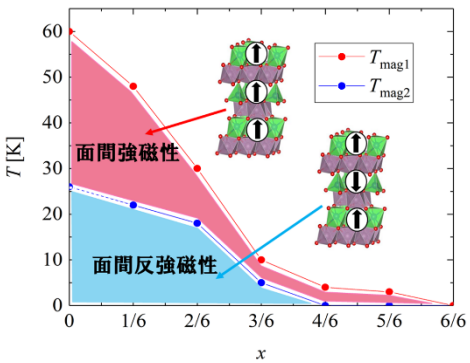
大西　伶侍

フラストレーション系の一つであるスピンアイス化合物 $Dy_2Ti_2O_7$ は緩和時間 τ に広い分布を持っている。先行研究では τ の分布の由来を明らかにする為 A サイトを乱した多結晶試料の緩和を調べてきた。しかし、多結晶では構造の乱れが少なからずあるので、本研究では単結晶を作製し、その交流磁化率を測定した。その結果、単結晶においても τ に分布があり A サイトの La 置換では τ の分布の広さは変化しない事が分かった。これにより τ の分布はスピンアイスの緩和機構に本質的であると考えられる。

4　$(Fe_{1-x}Zn_x)_2Mo_3O_8$の試料作製と磁気相図の作成

岩瀬　健哉

$(Fe_{1-x}Zn_x)_2Mo_3O_8$ 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。現在、我々は$(Fe_{1-x}Zn_x)_2Mo_3O_8$の磁気特性を詳細に調べ、磁気相図の作成を行っている。今回、x=4/6,5/6 の試料を作製し、磁気相図を完成させた。x=1/6,2/6 では温度を下げると T_{mag1} でフェリ磁性相に転移し、さらに温度を下げると T_{mag2} で反強磁性相へ転移する。x=3/6 以上でフェリ磁性相は強磁性相に転移する。x=3/6 では T_{mag2} で強磁性相から反強磁性相への転移はみられるが x=4/6,5/6では反強磁性転移が観測されなかった。x が増加すると、T_{mag1} , T_{mag2} は低温側にシフトしていく。

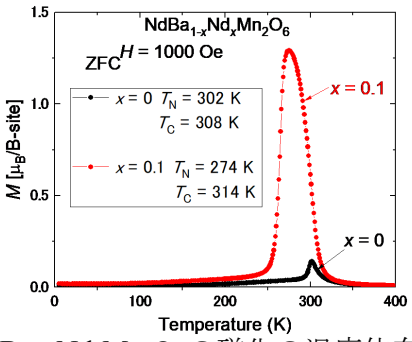


$(Fe_{1-x}Zn_x)_2Mo_3O_8$の磁気相図

5　Ba サイトの化学置換が RBaMn$_2$O$_6$ の物性に与える効果

福井　敦仁

RBaMn$_2$O$_6$（R は希土類）は、強磁性金属相、電荷・軌道秩序絶縁体相、A 型反強磁性（AAF）相が R=Nd の室温付近で多重臨界点を形成している。この物質は、超巨大磁気抵 抗効果を利用した磁性材料として期待されている。本研究では、Ba サイトの化学置換を 利用した電子ドープ効果が多重臨界点近傍の Nd$_{1-y}$Sm$_y$BaMn$_2$O$_6$ の磁気抵抗に与える効果を調べた。その結果、電子ドープした NdBaMn$_2$O$_6$ の強磁性転移温度は上昇し、同時に AAF 相が磁場に対して壊れやすくなった。また、多重臨界点が A サイトのイオン半径が小さくなる方向に移動した。

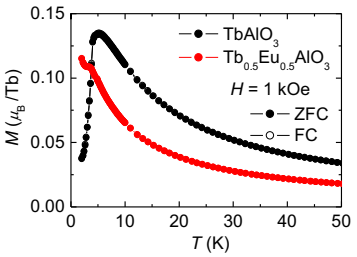


NdBa$_{1-x}$Nd$_x$Mn$_2$O$_6$ の磁化の温度依存性

6　磁気異方性を持つ TbBO$_3$(B=Al,Sc)の磁気特性に Eu 置換が与える効果

若林　あい健

本研究では Tb$_{1-x}$Eu$_x$$BO_3$($B$ = Al, Sc)の試料作製をして、その磁気特性を調べた。Tb は Tb^{3+}と Tb^{4+}の混合原子価、Eu は Eu^{3+}と Eu^{2+}の混合原子価を取り得る希土類である。これらの希土類を組み合わせることで電荷と磁性が関係した興味深い現象が期待される。TbAlO$_3$, TbScO$_3$ はそれぞれ 4 K, 3 K 付近で反強磁性転移を示す。両試料の 2 K における磁化曲線では磁場誘起相転移が見られた。これは Tb^{4+}が磁気異方性を持っているためであると考えられる。x の値が増加すると反強磁性転移温度 T_N は減少するが、強磁性転移を示唆する振る舞いも見られた。

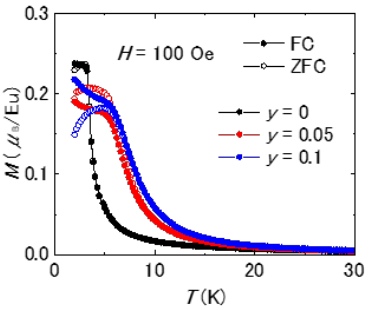


Tb$_{0.5}$Eu$_{0.5}$AlO$_3$ の磁化の温度依存性

7　ペロブスカイト型酸化物 Gd$_x$R$_{1-x}$AlO$_3$ の磁気特性 (R=Eu,Tb)

西　保志人

EuTi$_{1-x}$Al$_x$O$_3$ は Eu の+２価と+３価の混合原子価を持つ強磁性絶縁体であることが報告されている。今回は Eu^{2+}と同じ電子配置を持つ Gd^{3+}と Eu^{3+}を組み合わせた Gd$_{1-x}$Eu$_x$AlO$_3$ を作製し、EuTi$_{1-x}$Al$_x$O$_3$ の磁気特性と比較研究を行ったのでそれについて報告する。併せて、原子番号の隣り合う Gd^{3+}と Tb^{3+}の組み合わせた Gd$_{1-x}$Tb$_x$AlO$_3$ を作製し、その磁気特性についても報告する。MPMS による磁化測定の結果 GdAlO$_3$、Gd$_{0.5}$Tb$_{0.5}$AlO$_3$ では反強磁性を持つときに現れるカスプが 5K 付近に見られるが Gd$_{0.5}$Eu$_{0.5}$AlO$_3$ では見られなかったため、反強磁性転移温度が 2 K 以下に下がった可能性があると考えられる。

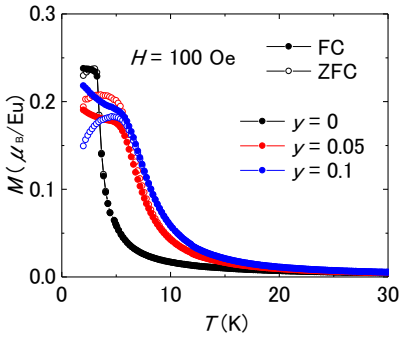


GdAlO$_3$ と Gd$_{0.5}$Eu$_{0.5}$AlO$_3$ と Gd$_{0.5}$Tb$_{0.5}$AlO$_3$ の磁化率の温度依存性

8　$EuTi_{1-x}Sc_xO_3$ の磁気相図の作成と d 電子が Eu の磁性に与える影響

宮元　豪士

本研究では $EuTi_{1-x}Sc_xO_3$(ETSO)の磁性を調べ、その磁気相図を完成させた。その結果、$EuTi_{1-x}Al_xO_3$ (ETAO) と同様に ETSO の磁気相図においても x の増加に伴い反強磁性絶縁体から強磁性絶縁体へと転移することを確認した。しかし、ETSO のほうが ETAO よりも強磁性相関が弱くなっている。これは Sc^{3+} と Al^{3+}のイオン半径の差に起因する Eu^{2+}-Eu^{2+}間の距離の広がりによるものと考えられる。また、d 電子による Eu の磁性への影響を調べるために、Ti の一部を V などで置換した ETSO 試料を作製した。その結果、強磁性転移温度の上昇を確認した。これは d 電子と Eu^{2+}との間の RKKY 相互作用によるものだと考えられる。

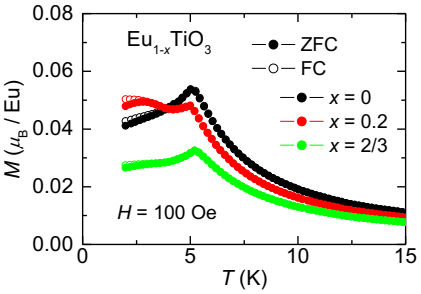


$EuTi_{0.8-y}Sc_{0.2}V_yO_3$ の磁化の温度依存性

9　$EuTiO_3$ の A サイト欠損が物性に与える効果

中島　伶

我々は $EuTi_{1-x}Al_xO_3$, $EuTi_{1-x}Sc_xO_3$ が Eu^{2+}/Eu^{3+}の混合原子価状態をもつ強磁性絶縁体であることを以前報告した。しかし、その強磁性相の発現の機構はまだ明らかではない。本研究では、$EuTiO_3$ の Eu を欠損させることで Eu^{2+}/Eu^{3+}の混合原子価状態を作り出し、その磁気特性を調べた。しかし、予想に反して $Eu_{1-x}TiO_3$ (x = 0.1 , 0.2 , 1/3) は全て反強磁性転移を示し、強磁性的挙動は示さなかった。これは、$Eu_{1-x}TiO_3$ は Eu^{2+}/Eu^{3+}の混合原子価状態になっておらず、実際には、ほとんどの Eu は＋2 価になっているためであると考えられる。その理由は、焼成に用いた Ar -H_2(5%)ガスでは還元力が強すぎたためであると考えられる。

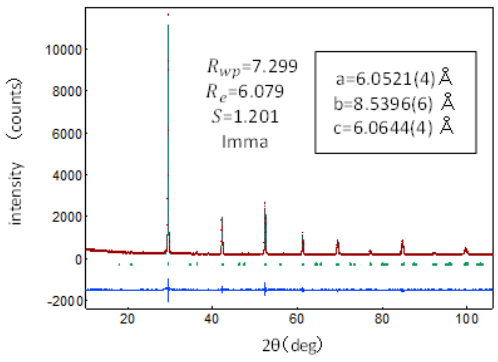


$Eu_{1-x}TiO_3$ の磁化の温度依存性

10　混合原子価を持つ希土類酸化物$Ba_{1-x}La_xTbO_3$の構造解析と単結晶試料の作製

細内　康博

混合原子価を持つ希土類酸化物$Ba_{1-x}La_xTbO_3$を作製し、その詳細な構造解析を行った。構造解析の結果、作製した試料（x=0, 0.1, 0.2）は斜方晶（空間群$Imma$）ペロブスカイト型構造を持つことがわかった。La^{3+}置換に伴い、単位胞の体積は系統的に減少する。また、単結晶試料の作製を浮遊帯域溶融法で試みた。結果、ペロブスカイト型構造を持つ試料を得ることができた。しかし、組成分析の結果、結晶育成時に Ba イオンと La イオンが気化してしまうことがわかった。目的の組成の単結晶試料を得るには、試料の仕込み組成を調整する必要がある。



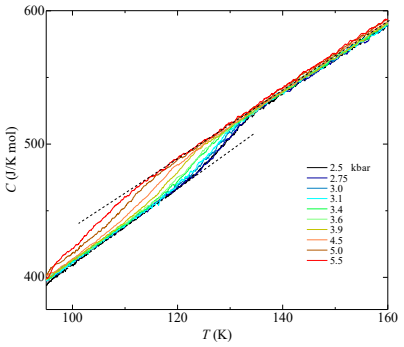
(x = 0.2) $Ba_{0.8}La_{0.2}TbO_3$ 粉末 x 線回折
リートベルト解析

物性物理学教室

1　ゼロギャップ伝導体α-(BEDT- TTF)$_2$I$_3$の電荷秩序転移

和田　浩輝

バルクな物質で唯一のゼロギャップ状態を有するα-(BEDT- TTF)$_2$I$_3$は金属、電荷秩序、ゼロギャップの三相が圧力下で競合する物質であるが、転移の詳細は不明である。電荷秩序絶縁体転移は加圧によって抑えられ、ゼロギャップ状態にどのように移行するのか明らかにするために、本研究では圧力下での比熱測定を行った。加圧に伴って低圧下では大きな比熱の段差を保持したまま転移温度が低下し、5.5 kbar 以上では高温相の比熱が急激に低下することがわかった。これは、高温相では金属相からゼロギャップ相へ移行の可能性を示唆しているものと思われる。

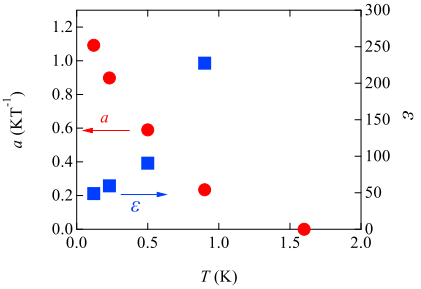


AC 法による比熱測定（2.5 ～ 5.5 kbar）

2　有機ディラック電子系の低温電子状態

西山　雄哉

グラフェンの発見以来、固体中の質量ゼロのディラック電子が幅広い領域で注目されている。質量ゼロのディラック電子系は光錐状の分散（ディラックコーン）が上下突き合わせ、「点」（ディラック点）で接する特殊なエネルギー構造により実現するが、この構造を持つ物質がバルクとして実現し、フェルミ準位がディラック「点」に一致するのは有機ディラック電子系のみである。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に、有機ディラック電子系の低温輸送現象を調べた。低温輸送現象に電子相関効果を検出した。

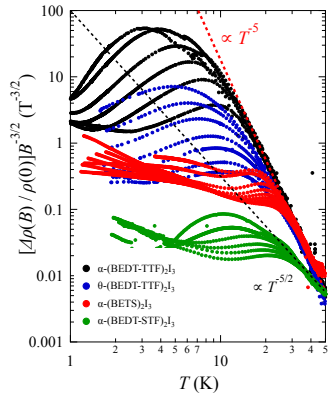


クーロンエネルギー$\frac{E_c}{B} = \frac{e^3}{\varepsilon\varepsilon_0 K\hbar} = a$と比誘電率εの温度変化

3　有機ディラック電子系におけるユニバーサルな磁気抵抗効果

五十嵐　真

グラフェンで質量ゼロのディラック電子が実現されて以来、多種の物質で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。その中の有機ディラック電子系には、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叶わない特徴がある。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に、4 種の有機ディラック電子系で面内磁気抵抗効果を調べた。低温・磁場下で量子極限が実現する過程において、ユニバーサルな磁気抵抗効果を見出した。

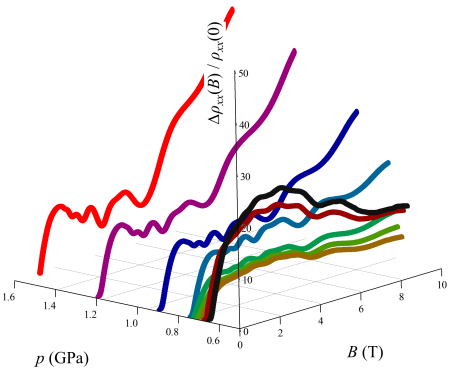


4つの有機ディラック電子系における磁気抵抗の温度依存性。

4　有機ディラック電子系の圧力によるディラック質量制御

稗島　亮

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。このように強相関電子系に隣接したディラック電子系はこの物質が初めてである。本研究では、この系の電荷秩序相は質量をもつディラック電子系なのか、どのように質量がゼロになるのか、あるいは反対にどのように質量を獲得するのかという問題に取組んだ。研究手法として、正孔注入した薄片試料で相境界近傍の量子磁気抵抗振動を詳細に調べた。量子磁気抵抗振動の位相解析から、相境界の電荷秩序相は質量をもつディラック 電子系であることがわかった。この系は圧力制御で「質量をもつディラック電子系」と「質量が無いディラック電子系」を行き来することができるのである。



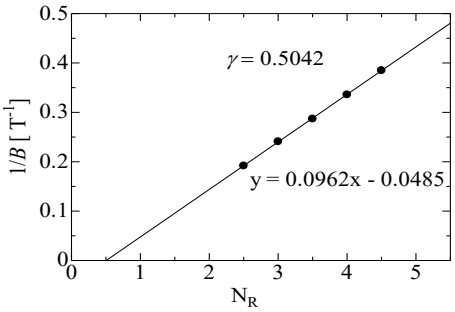
0.5K における磁気抵抗の磁場依存性。

5　常圧のα-(BETS)$_2$I$_3$における低温での量子振動

増田　光

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、最近、第一原理計算によって常圧でもディラックコーンが存在する可能性が示された。そこで本研究では常圧の α-(BETS)$_2$I$_3$におけるディラック電子を低温の磁気抵抗で確認することを目的として、電子ドーピングによる 50K 以下での絶縁化の抑制を試みた。

α-(BETS)$_2$I$_3$の薄い単結晶をポリイミド薄膜に接触させることで電子ドーピングを行ったところ、絶縁化が抑制され、低温で磁気抵抗に量子振動現象が見られた。量子振動は通常の電子によるものとは位相が π 異なっており、第一原理計算が示すように常圧においてディラック電子が存在する可能性を示唆している。



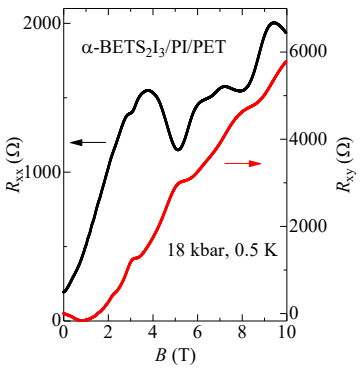
量子振動の極小値と磁場の逆数の関係

6　α-(BETS)$_2$I$_3$の基板上薄片結晶における圧力下の量子振動

屋代 陽大

有機導体 α-(BEDT-TTF)$_2$I$_3$は圧力下でディラック電子系になることが知られている。本研究ではその類似物質である α-(BETS)$_2$I$_3$が圧力下でディラック電子系であるかどうかを調べることを目的として量子振動の観測を試みた。

ポリイミドによる接触帯電法を用いてキャリアを注入した α-(BETS)$_2$I$_3$を 18 kbar まで加圧したところ 0.5 K で量子振動を観測することが出来た。振動の周期と位相から、一方はバンド接点を囲み、もう一方は囲まない 2 種類の軌道が存在することが示唆された。この結果、圧力下の α-(BETS)$_2$I$_3$は通常の電子とディラック電子が混在することを示している。

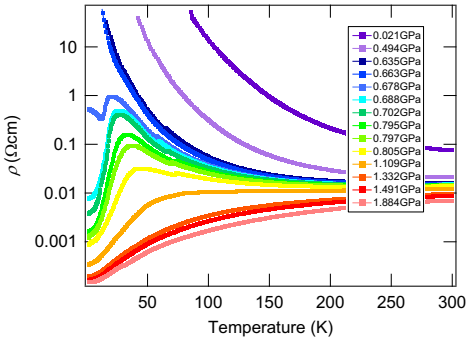


磁気抵抗R_{xx}とホール抵抗R_{xy}の磁場依存性

7　π電子－プロトン相関型有機伝導体 κ-H_3(Cat-EDT-ST)$_2$ における静水圧力下電気抵抗測定

北山　元晴

π電子-プロトン相関型有機伝導体 κ -H_3(Cat-EDT-TTF)$_2$ (H-TTF)は常圧で量子スピン液体相を基底状態にもつダイマーモット絶縁体であり、静水圧力印加によってドナー分子間の水素結合中プロトンの局在化と相関した電荷秩序化という特異なπ電子-プロトン相関現象を示す。本研究では、H-TTF の分子上の S 原子を Se 原子に置換した類縁体 κ -H_3(Cat-EDT-ST)$_2$ (H-ST)における静水圧力下電気抵抗測定を行った。その結果、圧力印加に伴い絶縁体－金属転移および超伝導転移を観測することに成功した。このことから H-ST では S/Se 置換効果によってπ電子系が優位な圧力応答性を示していると考えられる。

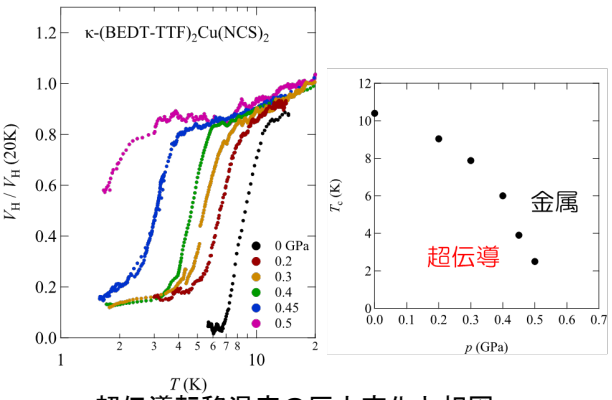


κ-H_3(Cat-EDT-ST)$_2$ (H-ST)における静水圧力下電気抵抗

8　ホール素子を用いた圧力下超伝導検出

久野　拓海

有機導体は大きな単位格子を形成していることが、電子の運動エネルギーを低くするために、電子間のクーロン斥力がその電子物性に重要な役割を担う。電子相関効果により低温で絶縁体になる有機導体が数多く存在するが、面白いことに、そのような有機導体の一部で圧力印加に伴う新規の超伝導現象が発見されている。しかし、圧力誘起超伝導現象検出の多く手法は電気伝導測定が主体であり、超伝導現象の特徴であるマイスナー効果はあまり調べられていない。本研究では、ホール素子を用いて圧力下超伝導のマイスナー効果を簡単に検出する方法を開発した。有機超伝導体 k-(BEDT-TTF)$_2$Cu(NCS)$_2$（T_c~10 K）のマイスナー効果を圧力下で調べ、超伝導体積の圧力効果を明らかにした。

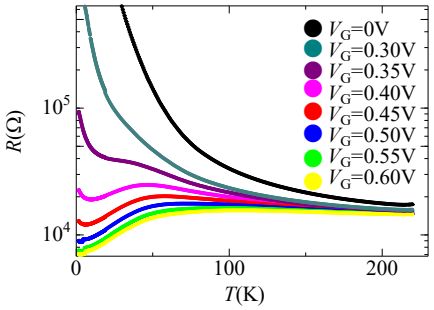


超伝導転移温度の圧力変化と相図。

9　電気二重層トランジスタを用いた κ-(BEDT-TTF)$_2$Cu(N(CN)$_2$)Cl に対する電界効果ドーピング

岩山 大地

電子相関の影響で絶縁化しているモット絶縁体は、電子密度や圧力の制御によって劇的に電子状態を変化させ、高温超伝導をはじめとした興味深い現象を見せる。本研究では金属絶縁体転移のひとつであるモット転移の観測を目的として、有機モット絶縁体である κ-(BEDT-TTF)$_2$Cu(N(CN)$_2$)Cl を用いて電気二重層トランジスタを作製し、電界効果によるキャリアドーピングを行った。試料を 220K から 2K まで冷却し、温度抵抗依存性を調べることでモット転移が起きていることがわかった。また、磁気抵抗の解析により、低温で分子間距離の 10 倍以上の平均自由行程と非弾性散乱長が見積もられた。後者はドーピングによって増大しており、電子相関の減少を反映していると考えられる。

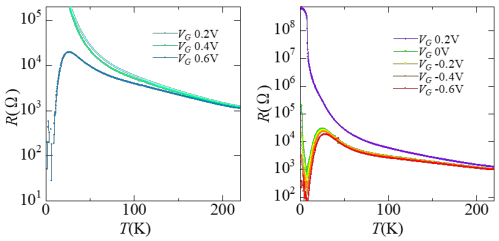


電子をドープした κ-(BEDT-TTF)$_2$Cu(N(CN)$_2$)Cl の電気抵抗の温度依存性

10　κ-(BEDT-TTF)$_2$Cu$_2$(CN)$_3$ に対する電界効果の測定

櫻糀　大仁

銅酸化物高温超伝導体や一部の有機超伝導体では、電子相関によって絶縁化したモット絶縁体にキャリアがドープされることで超伝導が実現しているが、これらのモット絶縁体はそのほとんどが反強磁性体である。本研究では、このような超伝導に対する磁気秩序相の影響を調べることを目標として、極低温でも長距離磁気秩序を示さない有機モット絶縁体 κ -(BEDT-TTF)$_2$Cu$_2$(CN)$_3$ に対する電界効果ドーピングを試みた。その結果十分な電界効果移動度が得られ、電子・正孔どちらのドーピングにおいても金属伝導を観測することに成功した。



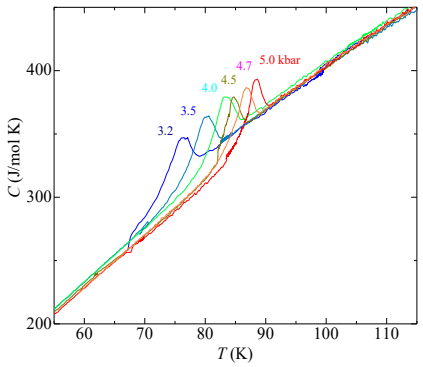
電子ドーピング　　正孔ドーピング

電子・正孔をドープした κ-(BEDT-TTF)$_2$Cu$_2$(CN)$_3$ の電気抵抗の温度依存性

11　Et$_2$Me$_2$Sb[Pd(dmit)$_2$]$_2$ の Mott 絶縁体—金属—電荷整列転移

三橋　豊彦

Et$_2$Me$_2$Sb[Pd(dmit)$_2$]$_2$ は 70K でフラストレーションを解消するために Mott 絶縁体相から電荷整列相へと相転移を起こす。4~5kbar では高温の安定相が絶縁体から金属相となり三相が競合している。Mott 絶縁体相から金属相への移行することで電荷整列転移がどのように変わるのか、未だ不明である。本研究では AC 法と DTA 法を組み合わせた方法を使い、高い精度で加圧下の比熱測定を行った。その結果、電荷整列転移に伴うピークが Mott 絶縁体相では幅広いものだったものが、金属相では急激に先鋭化するという新しい知見を得た。Mott 絶縁体相から金属相へと相転移していると考えらえる。

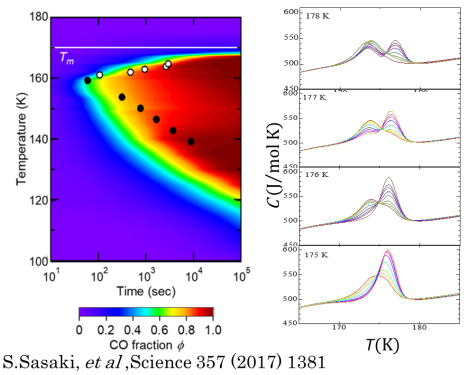


EtMe$_3$Sb[Pd(dmit)$_2$]$_2$ の圧力下比熱の温度依存性

12　θ-(BEDT-TTF)$_2$TlZn(SCN)$_4$ における電荷秩序形成過程

川嶋 みらい

ある温度で一定時間保持すると θ-(BEDT-TTF)$_2$TlZn(SCN)$_4$ は電荷の分布が不均一から均一なものへと顕著に変わる。しかし相転移の議論に不可欠な比熱の測定は未だ行われていない。本研究では、電荷の均一化に必要な冷却速度の制御可能なシステムを用いて相転移近傍の比熱を測定した。その結果、温度を一定時間保持すると低温側の不均一に伴うなだらかなピークから、均一化に伴う鋭いピークへと移行するが、移行の仕方が保持する温度により大きく変わることを明らかにした。これから高温側では核生成が、低温側では核成長が結晶化を妨げていると考えられる。



S.Sasaki, *et al*.,Science 357 (2017) 1381

θ-(BEDT-TTF)$_2$TlZn(SCN)$_4$ の各温度でアニールして測定した比熱