

平成 31 年度物理学コース卒業研究発表会

(Dated: 2020/2/6 9:50~16:00)

卒業研究の中間発表会を以下のように行います。4 年生はもちろん、1, 2, 3 年生も聴講し、近畿大学における今後の勉強に役立ててください。発表会は 3 部構成で、各部は発表者のショート・プレゼンテーション（各 1 分間）とポスター発表（約 1 時間）をから構成されます。

I. プログラム

1 分間のショート・プレゼンテーション（質疑応答なし）は、1 枚のスライドで行ってください。スライドの縦横比は 3:4（古い画面の比）としてください。ポスターの大きさは A1 で縦長です。

実学ホール（アカデミックシアター）

9:00 教員・学生集合

プロジェクターなどのセット：段下先生
ポスター・パネルの設置などの会場設定：近藤先生

9:50 開会の宣言（堂寺先生）

10:00 第一部開始（座長：太田先生）

ショート・プレゼンテーション後、ポスター発表

11:30 昼食

12:30 第二部開始（座長：笠松先生）

ショート・プレゼンテーション後、ポスター発表

14:00 休憩

14:30 第三部開始（座長：西山先生）

ショート・プレゼンテーション後、ポスター発表

16:00 コメント（大村先生）と閉会宣言（太田先生）

後片付け

II. 第一部

A. ショート・プレゼンテーション

一般相対論・宇宙論研究室：
4 次元一様等方宇宙モデル・5 次元一様非等方宇宙モデル

様々な宇宙観測により、我々の宇宙はビッグバンと呼ばれる火の玉状態から始まり、膨張してきたことが分かっている。過去・現在・未来へと続く宇宙空間の進化を記述するにあたって、基礎理論として一般相対性理論を用い、宇宙に特別な場所はないという「宇宙原理」を仮定したのが一様等方宇宙モデルである。本研究では、完全流体を考慮して、スケール因子の振る舞いを決定する。特に、状態方程式の種類によるエネルギー密度の振る舞いについて考察する。さらに、次元を付け加えて 5 次元の一様非等方宇宙モデルを考える。2 つの異なるスケール因子の関係を真空のアインシュタイン方程式より求める。5 次元宇宙が真空にもかかわらず 4 次元の一様等方宇宙空間が膨張する興味深い解があることを説明する。

一般相対論・宇宙論研究室：
完全流体とスカラー場による宇宙の加速膨張

現代の宇宙論によると、宇宙は誕生直後にインフレーションと呼ばれる加速膨張を経験し、現在もダークエネルギーと呼ばれる未知のエネルギーによって加速膨張していることがわかっている。では宇宙が加速膨張する条件はどのようなものだろうか。本発表では、宇宙が加速膨張する条件を、一様等方宇宙モデルにおける完全流体とスカラー場を具体例

にアインシュタイン方程式を用いて考察し、宇宙がどのように進化してきたのかを考えていく。完全流体については、状態方程式と宇宙膨張則の関係性を解説する。スカラー場については、宇宙初期にインフレーションが起こる条件を、スカラー場のポテンシャルに対するスローロール条件として表す。さらにインフレーションの具体的なモデルについて考察する。

宇宙論研究室：
粒子ホライズンを越えた揺らぎから探る宇宙のトポロジー

「もし宇宙が有限だとしたらどんな形をしているんだろう。」と考えたことのある人はいるかもしれない。その形について議論するうえでトポロジーという概念が使われる。空間上に存在する輪がある一点に収縮できない場合、その空間を多重連結空間と呼ぶ。多重連結空間の例として 2 次元トーラス（ドーナツの形）がある。2 次元トーラスの普遍被覆空間では基本領域と同じ空間の繰り返し、つまり周期構造が見られる。多重連結空間に観測者がいる場合、自分が鏡に囲まれた世界にいるように錯覚する。また、宇宙には銀河の数が多きところや少ないところがあり、この平均値からの差を揺らぎという。本研究では粒子ホライズン内でフーリエ級数展開を行うことで、粒子ホライズンを越えた揺らぎの再構築を試みる。また、簡単のため今回は 2 次元の揺らぎを用いる。この作業によって宇宙の揺らぎを再現することで宇宙のトポロジーを探ることができるとかを考察する。

宇宙論研究室：
光赤外・電波カタログを用いた銀河のクロスマッチング

現代の天文学者は、可視光線をはじめ、様々な波長の電磁波を使って観測することにより、肉眼では得られない多くの情報を得ている。一般に電磁波の波長が異なれば天体の明るさも変化し、観測できる現象やその特徴は、観測された波長に依存することが知られている。しかし、大きく異なる 2 つの波長域のどちらでも非常に明るい銀河の特徴はあまり知られていない。本研究では、座標の一致率によって同一の天体を探し出す手法（クロスマッチング）を用い、光赤外カタログ（The Sloan Digital Sky Survey）と電波カタログ（The SCUBA Legacy Catalogues）における銀河の一致率や一致した銀河が可視光域でどのような色に見えるかを調べた。本発表では、その解析結果について述べる。

素粒子論・重力理論研究室：
素粒子の標準模型と湯川秀樹の強い相互作用の理論

現在知られている基本相互作用には強い相互作用、電磁相互作用、弱い相互作用、重力相互作用の 4 つが存在する。4 つの基本相互作用のうち、最初の 3 つを記述する標準模型が確立している。私は、その中で特にクォーク間に働く強い相互作用に焦点を当てて研究した。素粒子とは何か、強い相互作用とは何かから始め、物質を構成するクォーク、それらを結びつけてハドロンをつくるグルーオン、そのグルーオンやクォークの振る舞いを記述する理論であるカラーに基づいた量子色力学について述べる。また強い相互作用の漸近的自由性やクォークの閉じ込めといった特徴を論じたのち、湯川秀樹のノーベル賞受賞論文が、現在の素粒子物理学において果たしている役割、その独創的なアイデアについて考察する。

素粒子論・重力理論研究室：
素粒子の標準模型と朝永振一郎の量子電磁気学

量子論の波動方程式を相対論的に記述するためには、ローレンツ変換の下で不変性を保つようにならなければならない。相対論的に不変な波動方程式の定式化について朝永振一郎が書いた論文を読み、不変性が保たれている波動方程式とはどんなものなのか見ていく。またそれを用いて作られた素粒子の標準模型についても学んだ。標準模型とは、自然界に存在している 4 つの相互作用のうち、重力相互作用を除く 3 つの相互作用を記述したものである。この標準模型は、量子論としても、実験で得た結果とも一致している。それぞれの相互作用では媒介する粒子に違いが見られる。電磁相互作用は光子、弱い相互作用は W ボソンや Z ボソン

ン、強い相互作用はグルーオンにより媒介されている。その媒介する粒子についての質量の違いや、それぞれの相互作用のエネルギーの大きさについて発表する。

素粒子実験研究室： Pythonを用いた力学分野の電子教材の作成

当研究では Python を用いた力学分野の電子教材の作成を行っている。力学分野を選択した理由は、高校物理で最初に学ぶ内容だからである。最初に学ぶ内容が理解できなかつたり、興味が湧かなかつたりした場合、次の内容を学ぶための基礎ができていなかつたり、意欲的に学ぶ姿勢が身につかなかつたりする。このような最初のつまづきを無くすために、実際に授業で使うことを想定した電子教材、特に動画を作成しようと考えた。授業中に動画を使用することで、生徒の興味を惹きやすくすることができ、動画だとわかりやすいものが出てくる。視覚的にわかる動画を作成するために、Python を利用して一つの画面で放物運動の軌跡、ベクトル、速度推移を作成した。軌跡の動画は、最高点と落下地点の数値を表示し、ベクトルの動画は、質点の軌跡を辿りながら速度ベクトルを表示し、速度の動画は、一つのグラフに水平成分と垂直成分の質点の速度推移を示す。

素粒子実験研究室： 高校物理(波)における学習者用電子教材の作成

2020年度から始まる新学習指導要領では、生徒の学習内容に加えて学び方も重要視され、「主体的・対話的で深い学び」が狙いの1つとして挙げられている。学び方を工夫する方法として、電子教材の活用が導入されている。電子教材は動画や音声の再生などの機能により、従来の紙の教科書では表現しきれなかった学習内容を、視覚的にわかりやすく学ぶことができる。特に理科の学習においては理科離れの原因を解決できる。またアクティブラーニングにも用いることができ、学びの幅が広がると期待できる。視覚的に理解しにくい波動分野の学習において、学習者用電子教材を活かすことができると考えた。本研究では、計算やグラフ表示ができ GUI を簡単に作成できる Python プログラムを用いて、生徒が自由に波のアニメーションを表示しそこから y-x グラフと y-t グラフを学習できる学習者用電子教材を作成した。

量子制御研究室： 学習支援のための物理シミュレータ

現在、学校教育の現場では ICT の導入が文部科学省によって促進されているが、実際にはあまり使われていないのが現状である。その理由としては、導入の際に教員にとって新たな知識が必要になるなどの負担があるからであると考えられる。そこで、今回はだれでも使いやすいようにブラウザだけで使える力学範囲の物理シミュレータを作製した。このプログラムでは、ストロボ、速度ベクトル、軌跡、グラフを見ることができ、これを使用することで物体の運動を視覚的にとらえることができる。実際に授業に使用すれば、多くの生徒が、物理に対するイメージとして持っている「難しそう」「計算が嫌だ」などの抵抗感を取り除くこと、また学習内容の定着の助けになると考えている。

量子制御研究室： π の計算

私たちが日々の学習で何気なく使っている円周率 π についてなぜ 3.14159265... という無理数になるのが不思議に思い、興味を持った。本研究ではその π の値を多数桁計算する。 π の計算方法としてはアルキメデス法、ウォリスの公式、グレゴリーの公式、マチンの公式、モンテカルロ法がよく知られているが、本研究ではその中からマチンの公式を用いた。その理由は、最も速く収束するからである。すでに Java のプログラムを作成して 1.2×10^4 桁まで計算できた。さらに多桁の計算を行えるようにプログラムの改良を行っているが、計算結果を表示するプログラムの作成に難航している。発表までには現在の 2 倍以上の桁数の π の値を計算する。また、Java のプログラムについて慣れることができた。

素粒子・宇宙物理学研究室： CTA LST の実データを用いたミュオンリング解析 1 -ペDESTアルの決定-

我々の住む地球に宇宙空間に存在する高いエネルギーをもった放射線が飛来している。一番初めに地球の大気へ入射される放射線は一次宇宙線と呼ばれ、大気中の原子核と相互作用を起こし高エネルギーの多数の二次

粒子が生成される。この二次粒子がさらに大気中の原子核と相互作用し多数の粒子を生成する。この連鎖反応する現象を空気シャワー現象と呼ばれる。特に高エネルギーのガンマ線によって発生する空気シャワーは磁気シャワーと呼ばれ、それにより発生した荷電粒子は大気中で制動放射を起こしてチェレンコフ光を発生する。この光を観測する事により宇宙の謎を解明しようという国際共同計画「Cherenkov Telescope Array (CTA) 計画」が進められている。日本では CTA 計画で使われる解像型大気チェレンコフ望遠鏡の中の大口径望遠鏡 (Large Sized Telescope(LST)) の開発に携わっており、本研究では LST の実データを用いた解析を行い、ペDESTアルの決定について報告をする。

素粒子・宇宙物理学研究室： CTA LST の実データを用いたミュオンリング解析 2 -リングパラメータの計算-

CTA 計画に使用される LST の 1 号基が 2018 年 10 月にスペインのラパルマに完成し、本観測に向けた試験運用が行われている。宇宙から到来した宇宙粒子線は空気シャワーを作り、ハドロンの崩壊でミュオン粒子は生成される。上空 1km 以下を通過し、LST を貫通するミュオン粒子が作るチェレンコフ光は、カメラ面上にミュオンリングと呼ばれるリング状のイメージを形成する。シミュレーションと観測された実データを用いてミュオンリングから得られたパラメータを比較することで望遠鏡の集光性能を較正することができる。これによりガンマ線観測の際の LST の集光性能を知ることができる。本発表では、実際に LST で観測されたミュオンリングのデータを元に独自の解析方法でミュオンリングからリングのパラメータ (半径、半径の誤差、中心座標) の計算と解析を行ったのでその結果を報告する。

ソフトマター物理学研究室： Gyrangle への自己組織化

最近、堂寺と Hyde は正三角形から構成される Gyroid の無限多面体 (Hart の Gyrangle =Gyroid+Triangle) を再発見し、本研究室で田中が行ったコロイド粒子が三重周期極小曲面に自己組織化するシミュレーションの手法を用いて、正三角形コロイド粒子を Gyrangle に自己組織化させることに成功した。今後、実験でも DNA で相互作用する三角形金属ナノ粒子を用いて Gyrangle を自己組織化させることが期待されている。本発表では、Gyroid の特徴を回転対称性や空間群といった結晶学の観点から説明し、それらの特徴を Gyrangle も持っていることを図で示しながら明らかにする。最後にシミュレーションの結果についても紹介する。

ソフトマター物理学研究室： 準結晶の秩序-無秩序転移について

堂寺と Steinhardt によれば、準結晶においてもペンローズの完全準結晶とランダムタイリング的準結晶の間にイジング模型における秩序-無秩序転移のような相転移があることが予想されているが、実験的証拠は存在しない。本卒業研究では、Engel らの研究を踏襲し、3w-OPP 粒子を用いて分子動力学シミュレーション実験を再現することで 1ドメインからなる良質の準結晶を作成する。さらに準結晶サンプルを温度変化させ準結晶特有の自由度であるフェイゾンの解析を行い、融点以下にこの相転移が存在する系を探索することを最終目標としている。卒業論文では主に準結晶の結晶学的作成方法である帯・射影法とそれに基づいた解析方法、そして相転移の詳細について述べ、最後に現状の進捗状況を報告する。ポスター発表ではフェイゾン解析についてフェイゾンという物理量を説明し、フェイゾン解析に伴うデータ加工について議論したい。

物性理論研究室： マスインバランスを有する 2 成分ボース・アインシュタイン凝縮体における量子渦格子の構造

先行研究では、2 成分間の質量が等しい 2 成分ボース・アインシュタイン凝縮体における量子渦格子の構造について議論され、回転ポテンシャル中の量子渦状態は三角格子、四角格子、またはそれらが規則的に組み合わせられた様々な構造を示すことが知られている。また、質量が違う 2 成分ボース・アインシュタイン凝縮体における量子渦格子の構造についても予想されている。本研究では、2 成分間の質量比が違う 2 成分ボース・アインシュタイン凝縮体がつくる量子渦格子の構造について述べる。異性分原子間相互作用を可変パラメータとし、2 成分間の質量比が 2, 3, 4 のときの回転ポテンシャル中の量子渦状態を、回転系における時間に依存しない 2 次元 GP 方程式の数値シミュレーションに基づいて考察

し、先行研究での予想の整合性を調査した。今回の発表では、その結果と考察を述べる。

物性理論研究室：

対向流を持つ相分離した2成分ボース凝縮体における界面の非線形ダイナミクス

相分離した相対速度を持つ2成分超流体の界面では古典流体で知られる Kelvin-Helmholtz 不安定性 (KHI) が起こることが知られており、原子気体ボース凝縮体 (BEC) を用いた検証が提唱されている。また、対向流を持つ2成分超流体が様に混合している時、対向超流動不安定性 (CSI) という不安定性を引き起こすことが知られている。先行研究では、相分離した2成分 BEC に対して界面幅を制御することで KHI と CSI のクロスオーバーを引き起こすと考えられている。本研究では、外部ポテンシャルのない対向流をもつ相分離した2成分 BEC に対して、不安定性を特徴付ける2つのパラメータである相対速度と異成分相互作用を変化させ、KHI や CSI がどのような領域でダイナミクスを支配するのかを Gross-Pitaevskii 方程式の解析により調べた。

生命動態物理学研究室：

デジタルカメラを用いた分光器の作製

本研究では、教育現場での活用を目的として、身の周りの道具を活用した分光器の開発に取り組んだ。分光スペクトルの検出器として一眼レフのデジタルカメラを採用した。これは、画素数が多いことによる波長分解能に加えて、高感度の光検出能、そして、携帯性が挙げられる。次に、回折格子としては、幅 $1.6 \mu\text{m}$ の溝をもつ CD-R と幅 $1 \mu\text{m}$ の溝をもつ回折格子シートを用いた。CD-R においては、表面のラベル面を取り除き透過型の分光器を製作した。開発した装置については、蛍光灯 (白色・電球色)・白熱電球の測定から分光特性を評価した。最後に、開発した装置の活用例として、ほうれん草と大葉からクロロフィル溶液を抽出し、その吸収スペクトルを調べる教育教材を開発した。

生命動態物理学研究室：

携帯型分光器の製作

これまでから教育現場では、手軽に光の性質を学ぶことを目的として、簡易的な分光器の開発が行われてきた。CD-R の溝を利用した回折格子や、紙製の箱を利用した分光器本体などを材料とする事が多く、手軽に製作できる利点はあるものの、その反面、剛性の弱さから光学的には不安定となる問題点があった。そこで本研究では、コストや軽量性、光学系の安定性などのバランスをとり、3D プリンターを用いて分光器本体を製作した。検出器としては、波長分解能や光検出能などの分光特製を優先させて一眼レフカメラを採用した。本発表では、開発した分光器の感度特性、波長分解能や検出できる波長範囲などの基礎データを提示しながら、試料サンプルの分光スペクトルなどを発表する。

生命動態物理学研究室：タンパク質1分子計測のための全反射型蛍光顕微鏡の構築

近年、細胞内ではたらくタンパク質分子機械の酵素活性を光学顕微鏡下で1分子毎に可視化する技術が開発され、大きな発展を遂げてきた。本研究では、水溶液中でのタンパク質1分子の動態を観察できる全反射型照明顕微鏡の開発に取り組んだ。全反射型照明法は、対物レンズ型とプリズム型とに大別され、ここでは、レーザー光が対物レンズを通過させないため、より背景光を少なくできるプリズム型を採用した。プリズムの側面から入射させたレーザー光を石英製のスライドガラスと水溶液の界面で全反射させることで、数百 nm 程度の領域のみを選択的に光励起できる全反射照明型の蛍光顕微鏡を開発できた。本発表では、開発した装置の光学性能を調べた結果と、同じ装置に組み込んだ光ピンセット法の併用についても報告する。

固体電子物理研究室：

電析法を用いた鉄系超伝導体 FeSe_{1-x} の合成

近年では高温超伝導体の一分野として鉄を含む超伝導体 (鉄系超伝導体) の研究が盛んになっている。本研究では鉄系超伝導体の二元素で構成される FeSe に注目した。 FeSe にはいくつかの構造が存在し、超伝導となるのは β 構造を持つものである。また、 β 構造は僅かに Se が欠損した範囲でしか存在しないと考えられており、報告されている相図はい

くつかある。相図のうちの一つに Fe/Se 比 1:1 付近で ms-FeSe (準安定な FeSe であり、 $\beta\text{-FeSe}$ と格子定数が僅かに変わる正方晶構造を持っている) が存在すると報告されている。 $\beta\text{-FeSe}$ は 400°C 、 ms-FeSe は 300°C 以下でのみ生成できることから本研究では、常温化で試料の作製が可能な電析法を用いることで $\beta\text{-FeSe}$ 、および ms-FeSe の作製し、薄膜 XRD 測定、FE-SEM による膜の状態の観察および分析を行った結果、製膜時に作用電極に加わる電圧の大きさと堆積する試料の Fe/Se 比が変動することを確認した。作製した試料は Fe/Se 比 1:1 付近のものが多くできていた。

生物物理学研究室：

マランゴニ対流による表面張力の自発振動の特徴を決める要因

超純水中にアルコールの液滴を作ると、液滴から溶け出すアルコールにより濃度勾配ができ対流が生じる。このような濃度勾配による対流をマランゴニ対流と呼ぶ。日常生活の中でもお椀のなかの味噌汁などで観測できる身近な現象である。また、一定の条件下でマランゴニ対流が起きているとき表面張力が自発的に振動することが知られている。先行研究ではアルコールの炭素数が多いほど振動の周期、振幅が大きくなることが分かっているが、振幅については周期に比べて変化は小さい。一方で当研究室の過去の卒業研究により水面にリン脂質を展開すると周期と振幅が大きくなることも分かっている。本研究では以上のことを応用し、自発振動の最も短い周期で大きい振幅の振動の発生条件を解明し、その時の炭素数の異なるアルコールごとの振動の周期、振幅および表面張力の回復期間の時定数を測定することで自発振動発生原理の解明を目指す。

生物物理学研究室：

マランゴニ対流による表面張力の自発振動に対する水面に展開した不可溶性界面活性剤による影響

液体表面では自由エネルギーの差によって液体内に向かって引力が働く、これを表面張力という。水溶液中に可溶性界面活性剤で液滴を作る、このとき液滴から界面活性剤が拡散する。この拡散によって水面で界面活性の濃度勾配が生まれ、表面張力の勾配から対流が起こる。この現象をマランゴニ対流という。このとき水面の表面張力の自発振動が起こる場合がある、その振動の周期や振幅は界面活性剤の溶解度や界面活性に影響されることが先行研究により示されている。また先行研究では、水面に不可溶性界面活性剤を展開することでマランゴニ対流下での表面張力の振動が起こりやすくなることも確認されている。しかしこれらのメカニズムについては未だに謎が多い。本研究では水面に展開する不可溶性界面活性剤による影響を調べるため炭素鎖の異なるリン脂質を水面に展開した際の振動の振る舞いを観測し、影響を考察する。

III. 第二部

A. ショート・プレゼンテーション

一般相対論・宇宙論研究室：

ダークエネルギーの問題点とシーソー機構

これまでの宇宙観測によって、現在の宇宙は加速膨張していることが分かっている。しかしこれは非常に不自然であり、この事実が判明する前は星々の重力によって宇宙は減速膨張していると考えられていた。このような重力とは反対の力、斥力のような力を生み出す源は全くの未知であり、ダークエネルギー (DE) と呼ばれている。そして現在そのような DE の候補の1つとして量子力学的効果から発生する「真空のエネルギー」が考えられているが、自然な理論予想に基づく真空のエネルギーの大きさに比べ、宇宙観測から制限される DE の値は極端に小さいという問題がある。本発表では、DE の極端に小さな値を自然に導く方法として、2つのスカラー場による visible sector と hidden sector の混合を考え、素粒子物理学におけるシーソー機構のアイデアを応用する Krauss と Dent の研究 (2013) を解説し、問題解決への糸口を探る。

一般相対論・宇宙論研究室：

5次元宇宙とブレーンワールド

ブレーンワールドモデルは我々の4次元宇宙が高次元時空の内部または境界の膜であるとする宇宙モデルである。1999年にランドールとサンドラムによって余剰次元が指数関数的に歪曲している5次元反ド・ジッター時空を用いたブレーンワールドモデルが発表された。本研究では、まず、5次元方向が歪曲しているときの5次元反ド・ジッター時空の計量を示す。次にイスラエルの接続条件と Z_2 対称性によって5次元曲率

半径とプレーンの張力の関係を決める。さらに、重力振動の振る舞いを考え、ランドール・サンドラム模型におけるプレーン上のニュートン重力の再現と補正項について述べる。最後に、一般のプレーン上のアインシュタイン方程式も紹介する。

一般相対論・宇宙論研究室：
ペンローズ図で見るブラックホールの大域構造

ブラックホールとは太陽の 20 倍以上の重い天体が、超新星爆発を起こし重力崩壊が止まらなかった際にできる。今回発表で用いるペンローズ図とはロジャー・ペンローズが用いた相対論的な時空構造を表現するための図である。この図は無遠方の特異点、ホライズンなどの時空の大局的な振る舞いを明解に示すことができる。先ず基本的なミンコフスキー時空のペンローズ図を用いて、無遠方の構造の見方を説明する。次に質量を加えたシュワルツシルトブラックホールのペンローズ図を用いて、特異点およびホライズンの見方を説明する。最後に電荷と宇宙項も加えた解であるライスナー・ノルドシュトルム・ドジッター・ブラックホールのペンローズ図を用いて、パラメータによって、無遠方の特異点の因果構造、ホライズンの個数など、時空の大域構造がどのように変化するかを説明する。

宇宙論研究室：
クェーサーにおける燃料供給とジェットの駆動・収束方法

銀河の中には中心部の非常に狭い領域から、銀河全体を凌駕するような強い電磁波を放射しているものがある。このような銀河中心領域を活動銀河核といい、活動銀河核の 1 つであるクェーサーは特に明るく太陽の 10^{13} 倍の光度を放射している。その放射エネルギーは質量から変換されることにより発生している。また、活動銀河核からはほぼ高速で噴き出し、一方または双方向に細く絞られたプラズマをジェットと言う。今日までに、ジェットの駆動および収束方法を理解するため数多くのシミュレーション研究が行われている。本発表では、クェーサーの放射エネルギーの発生に必要な燃料供給と、ジェットについて行われているシミュレーション研究について概説する。

宇宙論研究室：
ステライルニュートリノの物理量に対する制限

我々の宇宙に存在する質量のほとんどは、ダークマターと呼ばれる未知の物質であることが、これまでの観測から分かっている。その正体に関しては、未知の粒子説から重力理論の欠陥説まで様々な理論が展開されている。その候補の一つとして、現在主流の素粒子模型である標準モデルでは説明できないニュートリノの質量の根源を説明する際に現れる、ステライルニュートリノと呼ばれる粒子があり、盛んに研究されている。本発表では、そのステライルニュートリノの物理量に対して、ステライルニュートリノが発するとされる X 線の観測や、我々の宇宙を再現するような構造形成を行うための条件などから、天文学的および宇宙論的に与えられる制限を概説する。

素粒子論・重力理論研究室：
素粒子の標準模型と南部陽一郎の自発的対称性の破れ

これまで、素粒子の標準模型の概観について学んできた。それは、4 つの基本的な相互作用の内、重力相互作用を除いた 3 つの相互作用をゲージ原理の下、体系的に記述する模型である。その中でも電磁相互作用と弱い相互作用は $SU(2)_L \times U(1)_Y$ というゲージ群に基づき、統一的に理解することが出来る。ゲージ対称性がある系では一般的に粒子は質量を持つことが出来ない。しかし、弱い相互作用は短距離力で、この力を媒介する粒子の質量は重いことがわかっている。この矛盾を解消し、粒子が質量を獲得することを説明した力学的機構がヒッグス機構である。この機構は自発的対称性の破れという考えを基にしている、現在の素粒子物理学の根幹を成す機構である。この自発的対称性の破れという考えを素粒子物理学で初めて提唱したのは南部陽一郎であり、卒業研究では素粒子標準模型とそこで果たした南部陽一郎の重要な役割についてまとめる。

素粒子論・重力理論研究室：
素粒子の標準模型と小林・益川の CP 対称性の破れ

この卒業論文では、標準模型におけるクォークの弱い相互作用について発表する。本発表の題材である小林・益川論文は 1964 年に発見された CP 対称性の破れを 2 つの観点から議論している。その中でも CP

対称性の破れを説明するためにはクォークの世代が最低 3 世代必要であると予言した小林・益川理論を中心に発表する。具体的な流れとしては $SU(2) \times U(1)$ に基づくゲージ理論で実現された Weinberg の電弱統一理論について述べ、クォークの相互作用を考える。次に、当時未知の c クォークの存在を提唱した GIM 機構を紹介する。小林・益川理論は GIM のアイデアを 3×3 行列 (CKM 行列) に拡張したものである。拡張した行列に複素数が含まれることによって CP 対称性の破れが起こることを確認する。

素粒子実験研究室：
Python を用いた電磁気学分野の電子教材の作成

近年の学校教育では、電子教材などを用いた ICT 教育が広がっている。特に高校物理分野においては、物理現象を実際に目で見て学ぶために、電子教材 (シミュレーションプログラム) を用いてスクリーンやタブレットに表示するなどの ICT 教育を行うことによって、物理現象に対する生徒の理解の向上が期待できる。本研究では、視覚的にとらえることが難しい電磁気学について python を用いて実際に使用可能なシミュレーションプログラムを作成した。電磁気学の単元で今回選んだのは、電磁気学分野の初期の段階で学ぶ点電荷がつくる電界・電位の単元で、作成した機能は主に、点電荷によって発生する電界の強さと向きを矢印を用いてグラフ表示する機能、等電位線をグラフに表示する機能、電界・電位の計算結果を示す機能である。

素粒子実験研究室：
Arduino を用いたトイレトペーパーの使用量検知装置の作成

日常生活では些細なことがストレスに感じる事が多い。では、トイレトペーパーの残量がなくなった時、皆さんはどう思うだろうか。このストレスの原因は自分が 1 度で使用するトイレトペーパーの使用量を把握することができていないからである。本研究では Arduino を用いてトイレトペーパーの使用量を数値的に評価し、普段自分が使用しているトイレトペーパーの使用量を把握し、節約の意識付けをすることが可能な装置を作成した。Arduino とはセンサ類を追加して外界の物理的な変化を感知させたり、機器を動かす駆動装置を追加して外界に物理的な変化を起こさせることが可能な装置である。本研究では、Arduino にトイレトペーパーの使用した長さを測るためのセンサを用いた。

量子制御研究室：
3D プリンターによる顕微鏡の作成

昨今の日本のものづくり現場では各工程において 3D プリンターが活躍する場面が増えてきており、ものづくりを支える重要な役割を担っている。必要なパーツをひとつから作ることができるのでコスト削減や今までのものづくりの在り方を変えるアイテムとして 3D プリンターに興味を持った。今回は身近に感じられるようになり、さらに安価に入手できるようにもなった 3D プリンターで印刷した部品を組みあわせて顕微鏡を作る。顕微鏡の部品のデータは Open Flexure プロジェクトの成果として公開されていて、誰でも高精度のものを利用することができる。顕微鏡の制御には Raspberry Pi を使用する。Raspberry Pi に顕微鏡を制御するためのソフトウェアをインストールし制御する。

量子制御研究室：
回転変換におけるクォータニオンの利便性

クォータニオンは近年の SF 映画等の CG 技術を支えている数である。以前は回転行列でのグラフィックの回転が主流であったが、今日では広くクォータニオンが使用されている。そもそもクォータニオンとは 1843 年にアイルランドの数学者ウィリアム・ローワン・ハミルトンが考案した超複素数の四元数という数で、複素数を拡張した 1 つの実数と 3 つの純虚数のようなもので定義されている。ベクトルを回転移動させる手法にはオイラー角や回転行列などが挙げられるが、クォータニオンを用いると計算量が少ないことにより実行時間が短縮出来る。本研究ではクォータニオンを理解し、実行時間短縮に焦点を当て、回転変換計算における優位性をベクトル移動させるプログラムを組み、検証した。

ソフトマター物理学研究室：
高分子シミュレーションによる蝶ジャイロイド結晶の再現

フォトリック結晶はここ数十年かなり注目されている。自然界においても多数発見されており、本研究ではそのなかの一種、マエモンジャコウアゲハの鱗粉に見られるフォトリック結晶について詳しく述べる。こ

の結晶はジャイロイド構造を有し、多結晶でありながら結晶表面に沿う一方だけ結晶方位が統一されているということが吉岡らの近年の研究で明らかになった。統一されている結晶方位は(110)である。この特徴を持つ結晶を高分子シミュレーションを用いて作成し、結晶方位が制御される原因を探ることを目的として実験を行った。様々な条件下で実験を行った結果、ボックスの表面にある模様境界条件を施したとき、表面に(110)面が露出する場合があるとわかった。この模様は蝶のフォトリソグラフィ結晶上部に見られるリッジ・クロスリブ構造の模様に類似している。この実験の過程について詳しく述べていく。

ソフトマター物理学研究室：
結晶固体中の原子の振動模型について

結晶固体は高温で熱容量の値がおよそ $3R$ [J/mol·K] になるものが多いが、熱容量に関する性質はとても重要である。なぜなら、熱容量の温度依存性から、エネルギーが物質に吸収される物質の構造や内部自由度が分かるからである。本論文の目的は、結晶固体の熱容量について解説することである。そのためにまず熱力学について簡単に解説し、つぎに統計力学の考えに則り、固体中の原子による振動模型について考える。考える振動模型はアインシュタイン模型とデバイ模型の2つである。これら2つの模型の違いは、結晶固体を同じ振動数をもつ振動子の集合と考えるか、さまざまな振動数をもつ弾性体の振動からなる振動子と考えるかである。そうして求められた2つの模型について、利点と欠点について解説してゆきたい。

物性理論研究室：
ラビ結合した2成分ボース・アインシュタイン凝縮体における
相対位相のキック-反キックの衝突

スピン状態の違う2成分のボース・アインシュタイン凝縮体(BEC)に、スピン状態のエネルギー差に相当する電磁波を照射させると、凝縮している粒子がエネルギー準位1とエネルギー準位2の間をコヒーレントに振動することができる。このような結合をラビ結合という。この時、ラビ結合をもつBECには相対位相が 2π まきついたキック構造が存在することが知られている。キックとは、相対位相が 2π ずれたBECの領域を隔てる壁を表す。本研究では、キックと、 -2π ずらす壁の反キックを衝突させ、粒子・反粒子消滅と類似の現象が起きるのではないかと予想し、数値実験を行う。今回の発表では、数値実験の結果が4パターン出たので、それぞれの結果および、考察について述べる。

物性理論研究室：
Lee-Huang-Yang 補正を含んだ Gross-Pitaevskii 方程式による
量子ドロプレットの衝突の解析

超低温領域の冷却原子の実験で非常に希薄な状態の量子液相が観察されており、この量子液相は量子ドロプレットと呼ばれている。Dmitry Petrov の理論的提案によると、2成分 Bose-Einstein 凝縮体の同成分および異成分の原子間相互作用をキャンセルするように調整することにより、平均場近似における相互作用項と Lee-Huang-Yang(LHY) の量子補正項が競合させるようにできると予言した。これにより、自己束縛をする量子ドロプレットの作成を可能にする。本研究では、LHY 補正を含んだ Gross-Pitaevskii 方程式を用いて異なる粒子数と速度を持つ量子ドロプレットを衝突させる数値シミュレーションを行い、その結果と考察を述べる。

量子多体物理学研究室：
二軌道 Bose 気体における遍歴原子の超流動の安定性解析

Bose-Einstein 凝縮した冷却原子気体は超流動現象を研究するための理想的な系であり、実際に超流動臨界速度などの重要な特徴が観測されている。ごく最近の実験において、異なる内部状態の二成分 Bose 気体を状態依存光格子に閉じ込めることで二軌道 Bose 気体を実現された。この実験では、軌道間の混成の影響で遍歴原子の有効質量が重くなる現象が観測されている。本研究では、二軌道 Bose 気体系において、遍歴原子の超流動の安定性に対する局在原子との混成の影響を調べる。具体的には、擬弧長法を用いて定常 Gross-Pitaevskii 方程式を解くことで系のエネルギーバンド構造と有効質量を求め、有効質量の正負から超流動の安定性を判定する。結果として、混成がごく僅かであっても臨界運動量を著しく減少させることを示す。

生命動態物理学研究室：
高圧力分光法によるタンパク質分子の構造安定性

細胞内にあるタンパク質は、周囲を水分子に取り囲まれており、水分子との衝突に伴う激しい熱揺らぎにさらされている。そのため、タンパク質表面近くにある水分子との相互作用が高次構造形成や機能発現において重要な役割を果たしている。本研究では、高圧力技術を用いて、タンパク質水相を変調することにより、分子構造の安定性を調べる研究を行った。高圧力下で分子の構造変化を高感度に検出できるように、150MPa までの耐圧性能をもつ高圧力チャンパーと分光光度計を組み合わせた。実験では、タンパク質の構造安定性や構造形成の研究によく用いられているシトクロムCに着目し、変性剤濃度存在下で高圧力をかけながら分子構造の安定性を調べた。

生命動態物理学研究室：
高解像度型減圧顕微鏡の開発

地球上で生息する多くの生き物は、大気圧(1気圧)の環境下で生息している。本研究では、大気圧を変えたとき、細胞や組織、個体がどのように応答するのか調べることを目的として、減圧顕微鏡の開発を行った。新規に開発した装置では、減圧力チャンパー内に、対物レンズとサンプルステージを配置しており、チャンパーの外から観察場所を3次元的に操作できる仕様となっている。さらに、高開口数の対物レンズを利用できるため、高精細な顕微鏡観察像の取得や、顕微鏡下での対象物の3次元操作を可能とする光ピンセットの導入を可能にする。本発表では、大腸菌を実験サンプルとして、減圧環境での観察実験や、光ピンセットによる捕捉実験について報告する。

生命動態物理学研究室：
高圧力顕微鏡法による深海微生物の運動観察

Moritella Japonica DSK-1 株は JAMSTEC の有人潜水艇しんかい 6500 により深度 6300m から採取された深海微生物である。これまでの研究により、DSK-1 株は圧力 500 気圧、温度 15 °C の時に最も細胞の生育速度が高く、高圧力環境に適応した性質をもつことが明らかにされている。本研究では、最大 1500 気圧の静水圧をかけながら高精細な顕微鏡観察像を取得できる高圧力顕微鏡を用いて、DSK-1 株の遊泳運動能を調べた。また、DSK-1 株の近縁種であり浅瀬の海で採取された *Vibrio alginolyticus* VIO5 株に着目し、遊泳運動能を調べ、両者の運動能の圧力依存性について比較した。

固体電子物理研究室：
電析法による FeTe の合成

超伝導体の中には鉄系超伝導体と呼ばれる鉄を含んだ超伝導体が存在し、それらは銅酸化物超伝導体に次ぐ高い超伝導転移温度 T_c を持っている。中でも鉄系超伝導体の一つである FeSe の構造の一つである β -FeSe は転移温度が $T_c \sim 8K$ で超伝導体となり、また Se サイトの一部を Te で置換すると、転移温度が $T_c \sim 14K$ まで上昇することが報告されている。そこで本研究では β -FeSe の Se サイトへの Te 置換の前段階として、電析法による FeTe の合成を試みた。EDX を用いた元素の含有率測定の結果、Fe、Te ともに析出に成功していたが、薄膜 XRD を用いた化合物の同定においては FeTe 化合物に合致する目立った X 線回折ピークは確認できなかった。FE-SEM によって得られた写像は合成の際の過電圧によって試料表面の状態が変化することを示していた。

生物物理学研究室：
水面に形成した膜とマランゴニ対流の流速の関係

液滴中に界面活性剤の液滴を作った時、表面張力の差が生まれ対流が発生する。この対流はマランゴニ対流と呼ばれており、身近な例としてワインの涙という物がある。これはエタノールが表面張力の大きい水に水面より高い所に引っ張られた後自重で落ちていくという現象である。またマランゴニ対流には断続的に表面張力が自発的に変化する現象がある。2018 年度の卒業研究ではこの表面張力の変化に伴って流速が変化する事を見出した。今回の実験ではリン脂質 DPPC を水面に展開し自発的な変化が発生した時のマランゴニ対流の流速の測定を行う。DPPC は展開量によって膜の弾性定数が大きく変化するという特徴的を持つため、本研究では DPPC の膜弾性と流速について調査した。

生物物理学研究室：

BZ 反応における反応液の体積と振動周期の関係およびターゲットパターンの移動速度について

化学反応は平衡状態に向かって単調に進むと考えられていたが、平衡状態にならず周期的な振動が起こる反応が発見された。これを BZ 反応という。この BZ 反応液をシャーレのような浅い容器に静置した状態にしておくと液面上の数か所で反応が点として起こり、その点を中心に反応が拡散していくことが後に発見された。この際、反応の拡散により同心円状の模様（ターゲットパターン）が発生することが確認された。本研究では、BZ 反応液の体積を小さくすると振動周期のが長くなり、体積を大きくすると振動周期が短くなることがわかった。また、それと同時に体積を変化させるとターゲットパターンが崩れていった。ターゲットパターン反応時の動画からターゲットパターンを解析し、移動速度を求めることで数値上でも同心円状に広がっていくことやターゲットパターンごとに移動速度が異なることがわかった。

IV. 第三部

A. ショート・プレゼンテーション

一般相対論・宇宙論研究室：

静的球対称ブラックホール時空における光子球と準固有振動

我々の宇宙全体において、未知のエネルギーであるダークエネルギーは約 73 %、未知の物質であるダークマターは約 22 % 存在し、通常の物質は約 5 % しか存在しない。最終的な研究目標はこれらのダークエネルギーやダークマターの存在をブラックホールからの重力波を用いて探る方法を考案することである。重力波は振動数が十分大きな極限 (eikonal 極限) において、幾何光学近似を用いることで光子のような無質量粒子の軌道として考えることができる。一方、ブラックホールの周囲の幾何学は光子の円軌道の集合である光子球 (photon sphere) により特徴付けられる。本発表では、重力波の情報を得る一つの基本的な方法である、幾何光学近似を用いて光子球と重力波の準固有振動 (QNMs) の関係を静的球対称時空において解説する。

一般相対論・宇宙論研究室：

球対称重力崩壊の相対論的方程式と接続公式

自然界には相転移や衝撃波など、物理量の不連続性を伴う多くの物理現象が生起する。宇宙空間においても不連続面をもつ興味深い現象として重力崩壊があげられる。重力崩壊とは、ある星の内部の圧力が自身の重力を支えきれなくなり、星が潰れていく現象である。この重力崩壊によってブラックホールが生成される。また、この星の内部と外部で不連続性を伴っており、この不連続性には計量や外的曲率に関する星の表面の境界条件が存在する。本発表では Misner と Sharp の研究 (1964) に従って、重力崩壊の具体例として星内部の圧力がゼロであり、断熱変化するような球対称重力崩壊のモデルを考える。境界条件より不連続面の接続公式を導出し、重力崩壊する星の表面の運動を具体的に記述する方法を解説する。

一般相対論・宇宙論研究室：

真空泡の重力とダイナミクス：Minkowski, de Sitter, Anti de Sitter 時空内のバブル

我々の知る世界には多くの不連続なものがある。星の表面や固相と液相の表面など、様々な不連続面が存在する。インフレーションなどの初期宇宙で起こる真空の相転移によって発生した真空の泡も不連続な面である。真空泡は我々の観測的宇宙に進化した可能性がある。泡表面 (領域壁) における不連続性を考察するにあたって、Blau, Guendelman, Guth (1987 年) の論文に基づき一般的に成り立つ公式として接続公式を導出し、球対称な時空を仮定して領域壁の外的曲率とエネルギーの関係から時空の接続について考察する。本研究では簡単のため、領域壁の内部と外部ともに同じ時空を接続することを考える。具体的には、Minkowski 時空の場合、de Sitter 時空の場合、Anti de Sitter 時空の場合を考えて、領域壁のダイナミクスを考察する。

宇宙論研究室：

Python による 4 重像クエーサー RXJ1131-1231 のモデリング

アインシュタインの一般相対性理論によると、光は重力場中を通過する際に曲がりながら進むと考えられている。天体がレンズのような働き

をし、観測者からいくつかの像が見える現象を重力レンズと呼ぶ。ダークマターを直接光学的に観測することは不可能であるが、ダークマターは質量を持つため、重力レンズのシミュレーション画像と観測された画像を比較することでその質量分布について知る事ができる。本研究では 4 重像として観測される重力レンズクエーサー RXJ1131-1231 に着目し、レンズ天体である巨大楕円銀河の周辺に分布するダークマターについて調べる。そのため、Lenstronomy という Python のパッケージと、ハッブル宇宙望遠鏡によって赤外線観測されたデータを使ってシミュレーション画像を作成した。本発表では、ダークマターの質量分布について考察した結果について報告する。

宇宙論研究室：

Java による 4 重像レンズクエーサー RXJ1131-1231 のモデリング

アインシュタインの一般相対性理論によると、銀河など大きな質量を持つ天体の重力の影響により時空は歪む。これらの背景にある天体からの光線は、歪んだ時空を通過し曲がって進む。つまり重力源がレンズのような働きをしている。このような現象を重力レンズ効果と呼ぶ。重力レンズは宇宙の大部分を占めるダークマターがどの様に分布しているか観測的に決めるのに有効である。また、重力レンズ効果によって複数の像が観測されるクエーサーを重力レンズクエーサーと呼ぶ。本研究では、4 重像として観測されるレンズクエーサー RXJ1131-1231 に着目し、プログラミング言語の 1 つである Java を用いて観測と数値計算によって作成された像の比較を行う。本発表では、観測で得られた輝度分布と数値計算により得られた輝度分布を比較した結果とその考察について報告する。

素粒子論・重力理論研究室：

素粒子の標準模型とカミオカンデ実験のニュートリノ振動

素粒子の標準模型では、ニュートリノなどのレプトンは電弱相互作用を表現するゲージ場を用いた $SU(2) \times U(1)$ のゲージ理論によって支配されている。そしてそれらのゲージ場が自発的対称性の破れを起こすことで、ヒッグス機構によりレプトンは質量を獲得していたが、その中でニュートリノの質量は厳密に 0 とされていた。しかし、1998 年のスーパーカミオカンデの観測により、ニュートリノのフレーバー固有状態は世代間での振動していることが確認され、それを説明するにはニュートリノの質量固有状態を考える必要があった。すなわち、ニュートリノも質量を獲得したのである。本卒業研究では、この一連の流れに従い $SU(2) \times U(1)$ のゲージ理論を理解し、ニュートリノ振動の理論と観測結果を見る。

素粒子実験研究室：

Arduino を用いた自動温度制御装置の製作

温度管理が最も大事といわれるビール醸造。本研究ではビールの発酵時の温度管理を想定して、水温を調整するための自動温度制御装置のプロトタイプと温度変化を PC に記録し保存するためのシステムの製作を行った。水温の調整にはニクロム線ヒーターとウォータークーリング冷却器を用いた。これらの装置の制御には Arduino を用いた。Arduino とは、C 言語に似た独自の言語でプログラミングをすることができ、センサーを用いることで様々な値を測定することが可能であるオープンソースハードウェアである。また、ライブラリが豊富にあるため容易にセンサーも扱える。本研究では、温度センサーを用いることで水温の測定を行った。自動温度制御装置の耐久性を確かめるために装置の 24 時間連続運転を行った。

素粒子実験研究室：

GEM を用いたガス飛跡検出器での電子増幅率の評価

ガス飛跡検出器とは、荷電粒子が気体分子と衝突し電離することで発生した電子を読み出し面で読み取り、電離した電子の飛跡を観察する検出器であり、電離した電子をより増幅させるために GEM を用いている。本実験は GEM による電子の振る舞いのシミュレーションを 3 つのソフトウェアを用いて行った。GEM のモデリングを行う「Gmsh」、モデリングした GEM に熱や電磁場、電場を計算し電場構造を与える「Elmer」、電場を与えた GEM のモデルを使って電子の振る舞いのシミュレーションをする「Garfield++」。これらによって電子の増幅率を評価することを目標としている。そこで本研究では、GEM に与える電場と電子の増幅率、GEM の穴の大きさ、ピッチの距離による開口率と電子の増幅率の二つの関係性に着目し研究を行った。その結果、GEM に与える電場を上げると電子の増幅率は上昇し、GEM の穴の直径を小さくすると電子の増幅率は減少した。

素粒子実験研究室：
GEMの穴付近における電子の振る舞いについての研究

GEM(Gas Electron Multiplier)とは、絶縁体を銅箔ではさみ微小間隔で穴を開けた構造をしており、銅箔間に高電場を発生させることによって電子の増幅を可能にするものである。当研究は、GEMのモデルを作成するGmsh、電場計算を行うElmer、シミュレーションを実行するGarfield++という3つのソフトウェアを用いて、電子増幅をシミュレーションしている。シミュレーションにおいて、多数の電子が読み出し面まで到達せずに様々な場所で停止していることが先行研究でわかっていて、今回、電子の発生した位置と停止した位置を3次元座標で得ることにより、電子が穴付近でどのように発生し停止しているのか調べた。また、電子の発生する場所によって、電子が読み出し面に到達する割合がどのように変化するのか調べた。その結果、電子が発生や停止をする位置、また電子が読み出し面に到達する割合に偏りがあることがわかった。

量子制御研究室：
様々な関数の数値計算の理解

普段使用しているツールには原理を理解せずに使用してしまっているものが身近に多く存在する。その代表例として関数電卓を取り上げ、本研究ではブラックボックスとなっている計算アルゴリズムを理解した上で、各関数の近似式の導出を行った。三角関数をはじめとし、逆三角関数、 $\log(x)$ 、 e^x などの関数のマクローリン展開によって近似式を求めた。同様に、開平計算はニュートン法、 π はライプニッツの式によって近似する。これらの近似式をJavaを用いてPCに実装し810桁までしか表示できない既製品を上回る、12桁まで正確な値を表示することができる「my own 関数電卓」を作成している。しかしながら関数を実装していない電卓を作成できたが、関数の計算プログラムを実装した関数電卓は現在難航している。発表までには完成させる。

量子制御研究室：
ニューラルネットワークを活用した手書き数字識別モデルの作成

近代的なWebサイトやデバイスの多くは何らかの機械学習アルゴリズムを中心に構成されている。機械学習が活用されている例をあげると、私たちが日常でよく使うGoogle、AmazonやYouTubeなどのネット広告である。このように今日では、機械学習コンテンツは私たちの生活の身近な存在となっている。しかし、身近になったことで私たちは意識していないところで機械学習コンテンツを利用し、また利用されている。本研究では、MNISTと呼ばれる手書き数字のデータに対してニューラルネットワークを学習させた。そのニューラルネットワークでユーザー自身の手書き数字を識別させることができた。このシステムの活用により日常では無意識に利用している機械学習を、意識的かつ簡易的に体験することができた。それにより、学習させるデータセットの重要性がわかった。

量子制御研究室：
3Dプリンターを用いた整った空気の流れを作る装置の製作と空気の流れの可視化

本研究では3Dプリンターを用いた整った空気の流れを作る装置を製作した。その装置はFusion360という3D-CADソフトを用いて設計し、NIPPO NF700DとCreality Ender 3という2種類の3Dプリンターを使用し造形した。そして整流子が有る場合と無い場合の2通りの実験を行った。実験では線香を焚き、製作した装置を用いて空気の流れを可視化し、その違いを比較した。その結果、整流子が有ることで整った空気の流れを作ることが出来ることが分かった。研究背景としては1年次に基礎ゼミで取り組んだ紙飛行機が飛ばぬ原理をよくわかっていないことに気がついたことがきっかけである。ベルヌーイの定理やクッタの条件を振り返るとともに、飛行機が何故飛ばぬことが出来るのかを再考した。その上で飛行機が飛ばぬ際に重要となる空気の流れを可視化したいと考え、本研究を行った。

ソフトマター物理学研究室：
ハイブレン多面体

ハイブレン多面体とは、2000年に数学者阿原一志が作ったある条件を満たす同じ3角形からなる多面体の総称で、そのもっとも顕著な性質は双曲平面と同じ性質をもつことである。ハイブレン多面体(ハイブレン)には、同じ3角形でも組み合わせによってさまざまなハイブレンが構成できるという特徴がある。卒業研究発表では、まずハイブレンがどのようにできたのかという生い立ちを紹介し、つぎに3角形

の集まり方の変化によって、ハイブレン構造にどのような違いが生ずるかを説明する。さらに、ハイブレンは多面体であり滑らかな曲面とは言いが、多面体をより滑らかにするためには、3角形の細分による平滑化の方法があり、それについても紹介する。最後に、ハイブレン多面体を応用して、ダイヤモンド構造や非周期的ハイブレン多面体の紹介をする。

ソフトマター物理学研究室：
イベント連鎖モンテカルロ法の再現と拡張

マルコフ連鎖モンテカルロ法(MCMC法)は高次元確率分布からのサンプリングやその確率分布のもとでの期待値を、乱数を用いて評価する汎用的な数値計算手法である。従来MCMC法ではつりあいの条件を満たす十分条件として詳細つりあい条件が広く用いられているが、近年詳細つりあい条件を破りつつも、つりあい条件を満たすMCMC法がいくつか提案されている。特にKrauthらが提案したイベント連鎖モンテカルロ法(ECMC法)は、計算速度の問題から今まで計算できなかった大規模系に対して計算を行うことができ、50年ほど議論され続けていた2次元剛体球系における相転移の次数の問題に終止符をうった。本卒業研究ではこの剛体球に対するECMC法のプログラムを自作し2次元剛体球の相転移を再現し、さらにECMC法を2次元HCSS系(hard-core/square-shoulder系)に拡張を行うことで10回対準準結晶形成の再現を試みた。

物性理論研究室：
スピノールボースアインシュタイン凝縮体におけるtopological phase imprintingを用いた量子渦の生成実験の解析

スピノールボースアインシュタイン凝縮体(BEC)はスピン自由度を持つ凝縮体である。スピンの大きさが1のスピノールBECは3つの内部状態を持つが、外部磁場をかけることで1つの状態(WFSS)をトラップすることができる。この外部磁場を反転することで凝縮体の中心に量子渦を生成する方法はtopological phase imprintingと呼ばれ、超流動体に現れる量子渦を生成する方法として知られている。東京理科大で行われた量子渦の生成実験では、外部磁場の反転だけでは量子渦が観測されず、反転の方法を変化させることで凝縮体密度の枯渇を観測している。本研究では、topological phase imprintingを用いた量子渦の生成確認と、東京理科大の実験で観測された凝縮体密度の枯渇が量子渦であるか否かを数値計算を用いて考察する。

量子多体物理学研究室：
リドベルグ原子集団における反強磁性・縦横磁場イジング模型の量子相転移

本研究では、光ピンセットで一つ一つ別個に捕捉されたりドベルグ原子の集団において起こる量子相転移現象を理論的に調べる。そのために、まずこの量子多体系の構成とその反強磁性・縦横磁場イジング模型による記述方法をレビューする。さらに、絶対零度の量子イジング型の模型を平均場近似で解析する方法についてもレビューする。横磁場を固定して縦磁場を変化させた際におこる常磁性相と反強磁性相の間の量子相転移を平均場近似の範囲で解析する。この量子相転移の特徴的な性質として、横磁場がない場合に不連続である転移が有限の横磁場によって連続転移に切り替わるという点に注目する。転移点近傍における秩序変数の解析的表式を導出し、不連続転移から連続転移へ切り替わる機構について議論する。

生命動態物理学研究室：
バクテリア遊泳運動の圧力応答イメージング

大腸菌は周囲の環境を常時知覚しながら、よりよい環境へと移動している。細胞表面にはレセプターがあり細胞の周りにある化学物質や温度を知覚できる。外部環境に呼応して細胞内で情報を処理することで、泳ぐ方向をコントロールしている。これまでは、溶液の温度を変えることで菌体の応答を調べる研究などが行われてきたが、系全体の温度を瞬時に変えることは困難であった。そこで本研究では、温度と並ぶ代表的な熱力学パラメーターである圧力に着目し、圧力変化に対する大腸菌の応答を調べる研究を実施した。高圧力顕微鏡を用いた観察から、大腸菌は圧力変化に呼応して瞬時に遊泳運動の仕方を変化させることを明らかにできた。発表では、テザードセル法により評価したべん毛モーターの圧力応答についても報告する。

生命動態物理学研究室：
麻酔薬の圧拮抗作用の実時間イメージング

全身麻酔薬は、世界中の医療現場で日常的に使われている。その作用機序として主流なのは、麻酔薬が膜タンパク質に直接作用することで神経活動を阻害するという説である。しかしながら、麻酔薬の分子量は一般に小さく、膜タンパク質に特異的に結合し機能を阻害するとは考えにくい。他の案として、麻酔薬が脂質膜に溶解したのち、膜タンパク質に作用するという説も提唱されている。後者の説は、Johnson らによる麻酔薬の圧拮抗作用の報告例などが元になっているものの、今日に至るまで高圧力下で起きている現象を録画した例はない。本研究では、大型の圧力チャンバーを用いて、オタマジャクシに対して麻酔薬の圧拮抗作用を調べた。発表では、高圧力下にあるオタマジャクシを撮影した動画像を元にして詳細な解析結果について報告する。

固体電子物理研究室：
銅酸化物高温超伝導体 YBCO の Ni-Mg 同時置換効果の検証

高温超伝導体である YBCO 中の Cu サイトに Mg と Ni を同時置換することによる超伝導転移温度の変化を見る。過去の卒業研究で Mg と Ni を同時置換した場合に異常な変化が報告されていることから、その異常が再現されるかを検証した。作製した試料は Mg の置換濃度を 0.5%、1.0%、1.5% に固定し、それぞれの Ni の置換濃度を変化させたものである。試料を粉末 X 線回折測定による格子定数と交流磁化率測定による転移温度を評価すると Cu サイトへの Ni と Mg の同時置換が可能であると思われる。また、報告されていたような転移温度 T_c の異常な変化は見られず置換濃度と比例し転移温度は低下を示した。

固体電子物理研究室：
銅酸化物高温超伝導体 YBCO における Sr 置換限界の決定

銅酸化物高温超伝導体 $YB_2Cu_3O_z$ の Y サイトのみに Sr を置換させることはできず、Y サイト、Ba サイトの両方に Sr を置換させることは可能であることが先行研究より判明している。本研究では、作成可能な $Y_{1-x}Sr_x(Ba_{1-y}Sr_y)_2Cu_3O_z$ のより精密な (x, y) の範囲を明らかにすることを目的とする。試料は、Ba サイトへの置換量が少ない領域と多い領域で Ba サイト置換量を固定し Y サイト置換量を変化させたもの

の、Y サイト置換量を固定し Ba サイト置換量を変化させたものの 3 パターンを作製し、粉末 X 線回折測定による不純物相の量と、交流磁化率測定による転移温度の変異から Sr が置換されているか評価した。結果から Sr を Ba サイトへ 45% 置換させたときに最も Y サイトへ Sr を置換できることが判明した。

生物物理学研究室：
塩水振動の同期現象について

自然現象において、地球の回転運動などの周期的な運動を物理学の観点から考える時、海流を生み出す原因の一つに塩水振動という再現可能な現象がある。この現象を起こす装置のことを塩水振動子と呼ぶ。塩水振動とは、1970 年に海洋学者であるマーチンが海洋では密度の高い水が、密度の低い部分の上にくるということを実験を用いて発見した周期的に上下運動する現象の事である。前年度の卒業研究では、一つの塩水振動子を用いて塩水の濃度、小孔の径、塩水の入った容器の半径が如何に周期に影響を及ぼすのかを実験を用いて考察した。本研究では小孔の径に着目し、且つ二つの塩水振動子を用いて実験を行った。その際、前年度の実験装置をストローを用いることにより改良した。この装置により得られた実験データを前年度の卒業研究の実験データと比較し、考察した

生物物理学研究室：
アンチバブルの膜厚・寿命と粘性の関係

アンチバブルとは、逆シャボン玉とも呼ばれ、空気中に浮くシャボン玉と逆の構造を持ち球体の空気の液体を包み込んでいる流体の物体である。アンチバブルは親水基と疎水基からなる界面活性剤、水、空気で作成できる。身近なものでは洗剤と水を使ってアンチバブル生成できる。ストローなどを使ってスポイトのようにして溶液を水滴のようにして落とすと、その水滴の中の界面活性剤も疎水基を外にして落ちていく。液面と水滴が触れ合うよりも先に疎水基同士が触れ合うので水をはじき、押しつけることで空気の膜ができ、液面にアンチバブルができる。本研究では、グリセリンを加えることで粘性を変化させる。それによってアンチバブルの膜厚が変化するかをアンチバブルが上昇する速度を測定することで調べる。また粘性とアンチバブルの寿命との関係を調べる。