

望月理論物性物理学研究室

2021年8月8日

望月研究室は理論物性物理学の研究室です。磁性体や強誘電体、金属、絶縁体、超伝導体などの様々な物質が示す物性現象や物質機能を理論的に研究しています。特に、これらの物質において電子間の強いクーロン相互作用(強相関効果)により顕在化する「スピン」「電荷」「軌道」「格子」と言った多自由度の競合・協奏が織りなす創発的な相転移現象や非平衡・非線形現象、デバイス機能をターゲットとしており、量子力学に立脚した微視的なモデルを数理・統計的手法を用いて解析する方法で研究しています。

教授: 望月維人(Masahito Mochizuki)



1998年3月 東京大学理学部物理学科卒業
2003年3月 東京大学大学院理学系研究科物理学専攻博士課程修了
2003年4月 日本学術振興会特別研究員(PD)
2006年4月 独立行政法人理化学研究所基礎科学特別研究員
2007年1月 JST-ERATO 十倉マルチフェロイックスプロジェクト研究員
2009年4月 東京大学大学院工学系研究科物理工学専攻 特任講師
2013年4月 青山学院大学理工学部物理・数理学科 准教授
2013年10月 独立行政法人科学技術振興機構 さきがけ(兼任)
2017年4月 早稲田大学理工学術院先進理工学部応用物理学科 教授

研究室 web サイト http://www.f.waseda.jp/masa_mochizuki/index.html

研究室メンバー(2021年8月現在)

【学生(修士課程2年)】

井上隆 (Takashi INOUE), 宮島悠輔 (Yusuke MIYAJIMA)

【学生(修士課程1年)】

上保友人 (Yuuto UWABO), 衛藤倫太郎 (Rintaro ETO)

【学生(卒研究生)】

マティンジュバエール (Jubayer MATIN・国際コース)

飯島崇陽 (Takaaki IJIMA), 松木淳之介 (Junnosuke MATSUKI), 武藤竜樹 (Tatsuki MUTO)

【秘書】

吉村真由美 (Mayumi YOSHIMURA), 北野彩 (Aya KITANO)

【教員】

- ・今田正俊 (Masatoshi IMADA・研究院教授)
- ・田中康寛 (Yasuhiro TANAKA・講師)
- ・中惇 (Makoto NAKA・研究院准教授)
- ・モレ ジャン-バティスト (Jean-Baptiste MORÉE・研究院講師)
- ・シュミット マイケル トビアス (Michael Tobias SCHMID・研究院講師)
- ・コリンズ アコサ アシュ (Collins Ashu AKOSA・研究院講師)
- ・ポーレ リコ (Rico POHLE・非常勤研究員)
- ・リー ムークン (Mu-Kun LI・招聘研究員)

卒業研究のための研究室活動

3月 研究室に配属

4月上旬 研究室活動スタート

各学生に机と椅子、コンピュータが支給されます。

4~8月 輪講

- ・週1回の頻度で固体物理や磁性、物性物理学に関する基礎的な教科書を輪講します。
- ・教科書として何を選ぶかは、皆さんと話し合っ決めてます。
- ・昨年度は斯波弘行著「基礎の固体物理学(培風館)」などを輪講しました。

4~8月 コンピュータ演習

コンピュータの基礎、プログラミングの基礎を習得します。

具体的には、古典ハイゼンベルグ模型のモンテカルロ計算や、磁化の時間発展方程式である Landau-Lifshitz-Gilbert 方程式の数値シミュレーションなどをマスターします。

8月上旬 卒業研究テーマ決定

学生が興味を持っている題材を考え、話し合いながら卒業研究のテーマを決めます。

9月中旬 研究室夏合宿

2泊3日の合宿を行います。卒研生は、各自の卒研テーマについて、背景や動機などを中心に、どのように研究を進めていくのか発表してもらいます。

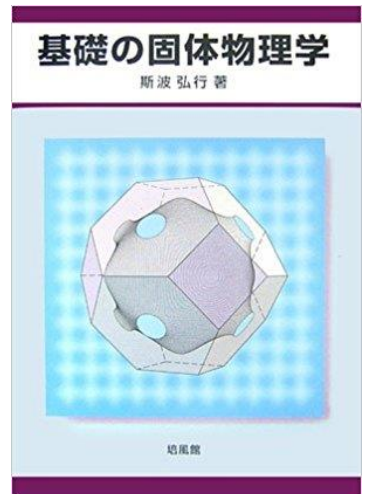
9月中旬 学会(意欲があれば卒研生でも参加し、聴講・講演できます。)

9月下旬~2月 研究

研究にガンガン取り組みます。週1の頻度で進捗報告をします。

2月下旬 卒業研究発表、卒業論文執筆

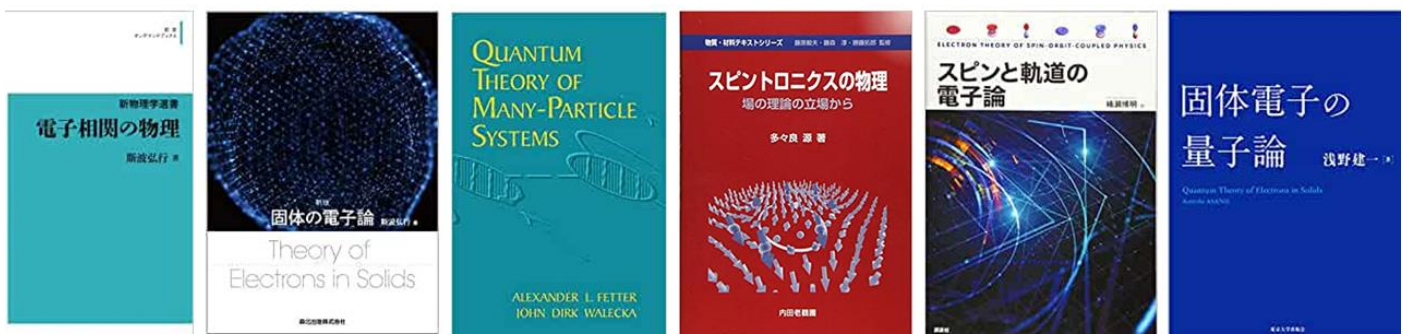
3月 卒業



輪講の進め方

・輪講は、だいたい週1回程度全員で集まって行います。毎回、持ち回りの担当者がその日に学習する章や部分のレジュメを作成・配布し、他の学生の前で発表します。担当でない学生は、輪講当日までにしっかりと予習を行い、担当者の発表に対して質問や指摘を行いながら教科書を読み進めていきます。

・輪講する教科書は学生同士で話し合っ決めてます。固体物理の教科書であったり、スピントロニクス of 教科書であったり、場の量子論の教科書であったりと、分野や内容は様々です。例えば、これまでに輪講に使用した教科書には次のようなものがあります。



・輪講に教員は参加しません。学生のみで行います。教科書を読み進めていて、分からない部分や、輪講仲間の中で理解や解釈が食い違う部分が出てきた時には、全員であーだこーだと議論してください。時に、他の教科書や文献をあたってみる必要に迫られますし、分からなくてもいったん受け入れて先に進め、もう一度戻って考え直すといった読み進め方をすることもあります。

・教員が参加しない理由は二つ。一つは「最後は正解を教えてもらえる」という甘えを排除するため、もう一つは、稚拙で的外れな意見でも臆することなく表明し、学生同士で真剣に議論してもらうためです。「研究」は誰も答えを知らないことを解き明かす作業です。また、「研究」を遂行するためには、前提となる知識を習得し、先行研究を理解するために、教科書や文献をコツコツと読み進めていかなければいけません。輪講はそのための訓練だと思ってください。みんなで議論したり、自ら真剣に考えることで納得できる答えを導き出したり、その答えが本当に正しいのかを検証したり。そういった作業の一つ一つが本物の研究に取り組むための生きた訓練になります。辿り着いた答えが必ずしも正解でなくても全然構いません。とにかく、試行錯誤しながら何らかの「答え」を出すことが大事なのです。私自身、学生時代にたくさんの教科書を輪講しました。その時に真剣に考えて導き出した答えや理解が、あとからまったくの間違いであったこと気付くこともあります。でも、それでいいのです。

研究設備、

・計算機： 計算機クラスターが 51 号館地下2階にあります。研究室や自宅からネットを通じてリモートでログインし、計算ジョブを流したり、計算結果を解析したりできます。



これまでの卒業論文テーマ

2013 年度卒論

「スキルミオンの電流駆動における容易面異方性不純物の効果」

「スピントロニクス回路設計のためのソフトウェア開発」

「空間反転対称性のある磁性体におけるトポロジカル磁気テクスチャの理論的探索」

「マルチフェロイック物質中でのスキルミオンの電場制御の理論的研究」

2014 年度卒論

「カルマン渦列の数値シミュレーション」

「スキルミオン光生成の理論研究」

「モンテカルロシミュレーションによるカイラル磁性体の研究」

「Rashba 電子系の時間発展シュレディンガー方程式の数値的研究」

「磁区パターン生成の数値シミュレーションによる研究」

「磁場印加によるスキルミオンの生成方法の理論的探索」

「乱雑位相近似を用いたトポロジカル絶縁体における電子相関効果の解明」

「Bi-Te 系化合物における熱電性能に関する理論研究」

2015 年度卒論

「第一原理計算による層状ダイカルコゲナイド化合物の電子状態の研究」

「乱雑位相近似を用いた非従来型超伝導体の理論研究」

「伝送回路内における磁気スキルミオンの電流駆動ダイナミクスの理論研究」

「キラル磁性体におけるスキルミオンと磁気モノポールの理論研究」

「モンテカルロシミュレーションを用いた画像修復」

2016 年度卒論

「磁気スキルミオンを情報担体とする論理演算素子の理論設計」

「古典モンテカルロ法による磁気双極子系の理論研究」

「Navier-Stokes 方程式を用いた液体金属の流れが誘起するスピン流の理論研究」

「時間変化する Rashba 相互作用が誘起する交流スピン流の理論研究」

「負の熱膨張を示す逆ペロブスカイト型マンガン窒化物の磁気構造と相転移の理論研究」

「キラル磁性体中の Skyrmion 磁気モノポールの理論研究」

2017 年度卒論

「円偏光マイクロ波磁場による磁気スキルミオン生成の理論研究」

「キラル磁性体における一軸張力と磁気スキルミオンの安定性に関する理論研究」

2018 年度卒論

「フロケ理論を用いた光誘起トポロジカル相転移の理論研究」

「Rashba 電子系におけるスリット型電子干渉実験の理論研究」

「機械学習を用いた物性理論モデルにおける物理状態の解析」

2019 年度卒論

「円偏光レーザー誘起スピン偏極現象の理論研究」

「ニューラルネットワークによる n 状態クロック模型の Kosterlitz-Thouless 転移の検出」

「Kitaev 模型における光誘起トポロジカル相転移の探索に向けて」

「Photoinduced Polarization-Switching Dynamics in Hydrogen-Bonded Organic Ferroelectric Crystals: A Monte Carlo Study of Classical and Quantum Ising Models with Long-Range Interactions」

2020 年度卒論

「金属磁性体に発現するトポロジカル磁気構造の円偏光磁場誘起ダイナミクスの理論研究」

「イルメナイト型遷移金属化合物における負熱膨張現象の理論的探索」

「Theoretical Study on Thermally Driven Magnetic Skyrmions」

研究内容について小文

世の中には色々な物質があります。金属や絶縁体、半導体に超伝導、磁性体にガラスや液晶などなど。人類は、これらの様々な性質を利用して生活に役立てています。どういった性質があるのでしょうか？ ま

ず、電気を通したり通さなかったり、電気抵抗がゼロになったり、一方向にしか電流を流さなかったりと言った「電氣的な性質」があります。特に、最後の性質は現代のテクノロジーの基幹となっている「半導体デバイス」として利用されています。また、磁石になって鉄をくっつけたり、くっつけなかったり、あるいは一つの物質の中に磁石としての性質が異なるミクロな模様(磁気ドメイン)ができたりと言った「磁氣的な性質」もあります。磁気ドメインは、広くコンピュータの中のハードディスクやメモリ、磁気テープと言った磁気記憶デバイスとして応用されています。それ以外にも温めると発電するといった「熱電的性質」や、一方向にしか光やマイクロ波を通さないといった「光学的性質」があります。この世の中にある、ありとあらゆる電子機器が、このような物質の性質を利用しているのです。

物質が示すこのような多彩な性質は、実は物質中にある「電子」というマイナス電荷を持った素粒子が担っています。物質中には、ものすごくたくさんの電子がいます。例えば、1円玉一枚(アルミ1グラム)の中には、 10^{22} 乗個の電子がいます。これは非常に大きな数です。宇宙が生まれてから、およそ 10^{17} 乗秒たっているとされていますから、宇宙が始まってから一秒間に1万個のスピードで電子を数え続けても、まだ数え尽くせません。我ながら、分かりにくい例え話をしてしまいました。とにかく、物質の中には信じられないほど膨大な電子がいます。

ところで、電子1個の性質は、量子力学という学問のおかげで非常によくわかっています。もつという、量子力学の基礎方程式であるシュレディンガー方程式という簡単な方程式をチョイチョイと解くと、1個の電子の性質や振る舞いは立ちどころにわかってしまいます。こういったことは、大学の2~3年生で勉強します。それでは、電子1個の性質がよくわかっているなら、物質の性質を担う膨大な電子の振る舞いも、一つ一つの足し合わせとして簡単に理解できてしまうのでしょうか？ 答えは No! です。

不思議なことに、電子はたくさん集まると、少数の時には思いもよらなかった性質や現象を示すのです。「超伝導現象」はその典型的な例です。温度を下げると電気抵抗がゼロになり、電流が永久に流れ続けるこの劇的な現象は、1個1個の電子を見ていたのでは思いもよらなかった、集団の電子が示すスペクタクルなものです。さらに、電子は、「電氣的な性質」や「磁氣的な性質」を担う「電荷」や「スピン」と呼ばれる自由度に加え、電子が物質の中にどのように広がっているかという「電子雲の形状」の自由度を持ちます。これらの自由度は、特に膨大な電子の集団の中で強くからみ合い、相互作用します。その結果、「強い磁石を近づけると電流が流れたり(磁気抵抗効果)」、「温度差をつけると電圧が発生したり(熱電効果)」、「光を当てたり電流を流すと磁区が動いたり、変化したり(スピントロニクス・磁気デバイス)」、「太陽光で発電したり(太陽電池)」といった、摩訶不思議な現象や人様の役に立つ現象が起こるようになるのです。

「理論物性物理学者」は、このような物質中の電子集団が生み出す想像をはるかにこえた未知の現象を、量子力学や統計力学、数値シミュレーションを駆使して、予測・解明したり、設計したりしています。研究への情熱の半分は、純粋な知的好奇心と真理の探究心、もう半分は応用を視野にいれた「人類の役に立ちたい」という熱い思いでできています。「美しい真理との出会い」や「人類が抱える諸問題(エネルギー問題、温暖化問題など)の解決」、「情報テクノロジーの革命」につながる大発見を夢見て、今日も研究を続けています。

研究室を選ぶ際には

研究室選びでは、その研究室が扱っている研究テーマを「自分が面白い(面白そう)と思えるかどうか」を一番の基準にすることをお薦めします。一番いけないのは、「あの研究室でやっていることは難しそう」だ

とか、「数学が得意じゃないから」、「実験が苦手だから」、「コンピュータが不得意だから」という理由で、面白そうと思っている研究室やテーマを敬遠することです。なぜなら …

1. 面白いと思えることは頑張れる。

自分が面白いと思えることや興味を持てることは、多少難しくても頑張ることができます。逆に、自分が面白くないと思えないことは、どんなに簡単なことでも苦痛に感じるものです。特に、卒業研究は何をテーマに選んでも、それなりの量の作業をしなくてははいけません。だったら、面白いと思えるものもいい。本当にやりたいテーマを見つけ、それに取り組むために必要な知識や技能を学ぶことはとても楽しいし、やりがいがあります。私自身、大学院入試の面接で、指導教官になる先生から「プログラミングは好きですか？」と聞かれ、プログラミングなどやったことがない上に、コンピュータが苦手だったにも関わらず、(合格したい一心で)「はい、大好きですっ」と答えました。お陰で無事に合格し、その先生の研究室に入ることができましたが、「大好き」と言った手前、隠れて必死にプログラミングの勉強をしました。すると、やっているうちにどんどん楽しくなってきました。特に、自分が「非常に面白い！」と思う研究テーマに回り逢った後は、このプログラミング技術がそのテーマの解決に役立つと考えるとドンドン楽しくなってきました。ですので、皆さんも、「苦手」とか「不得意」を理由に躊躇・敬遠することなく、自分が本当に面白そうと思える研究室や研究テーマを選んでください。

2. 色々な能力が活躍の場を与えられる。

理論の研究室と聞くと良く言われるのが、「私は数式が苦手なんです」とか「なんか難しそう」とか、「量子力学や統計力学の成績があまり良くなかったんです」というセリフです。だから自分は理論の研究室には向かないと。しかし、意外かも知れませんが、理論物理学の研究に必要なのは「難しい方程式を解く能力」だけではありません。例えば、リンゴが木から落ちるのを見て、すべての物体は互いに引き寄せあっていることに気が付くのは、数学が得意なだけではできません。また、光の速さに関する思考実験から特殊相対性理論という理論体系を生み出すことは、数学が得意なだけの人にはできるとは到底思えません。実際、万有引力の式もローレンツ変換の式も中学生レベルの算数で理解できる簡単なものです。しかし、それらの発見には「無」からストーリーを紡ぎあげる「ストーリーテラー」としての能力が大事になります。これはむしろ国語が得意な人や、言葉への感性が鋭い人に向いているかもしれません。実は、物理研究の世界を見回してみると、多様多彩な人に活躍の場を与えられていることに気が付きます。「コンピュータが得意な人」、「手先が器用な人」、「体力には自信がある人」、「社交性があり人柄が良い人」、「文章が上手い人」、「英語が得意な人」など様々な能力を持った人が、それぞれの能力を生かして、色々な場で活躍しています。

そんなわけで、皆さんには、ぜひ自分のやりたいこと、好きな道(研究室、テーマ)を選んで欲しいです。得意・不得意があっても、自分には向いていないと躊躇してしまうかもしれません。しかし、一生懸命努力すれば、自分の中の思ってもみなかった才能や資質に気が付くし、意外な能力が活躍の場を与えられることがあります。そして、これは決して物理学の研究に限った話ではありません。

研究者になるための3つの資質

研究者になるためには次の3つの資質が必要です。具体的には、「やり抜く力」、「新しい価値を生み出す力」、「打たれ強さ、明るさ、愛嬌」です。これらは生まれ持ったものというよりは、あとから育むものです。「卒業研究」は、これらの資質を育て、培うためのものです。研究者に限らず、社会で仕事をし、人生を生

き抜くために必要な資質です。

1. やり抜く力

ちょっとやってみて、うまくいかないとすぐに諦めたり、先生に尋ねたりする人は研究者に向きません(それどころか、会社に入っても、どこに行っても成功しません)。まず、自分の研究テーマは、自分が解決すべき問題だと強く意識してください。確かに、卒研テーマ程度であれば、多くの場合、先生は解決法や対処法を知っていたりします。しかし、「研究」とは、本来誰も答えを知らない問題に取り組み、誰も通ったことのない道を切り拓いていくものです(「研究」だけでなく、多くの「仕事」にも同じことが言えます)。

学部1～3年までの講義や教科書が主体の勉強では、「正解」があり、先生はそれを知っていて、ちょっと考えてみて分からなければ、先生に聞くことが最も効率的な勉強法でした。また、そうする人が良い成績をとることも多かったでしょう。しかし卒業研究は違います。一つの問題を寝ても覚めても考え抜き、色々なアイデアを試し、それでもうまくいかず何度も試行錯誤するものです。たった一つのプログラミングのバグを取るのに2、3か月かかることもあります。でも、その泥臭い作業こそ、新しいものを生み出し、新しいことを見出すことができる唯一のプロセスなのです。

アカデミアに残って研究者になるにしても、アカデミア以外に就職するにしても、創造的な仕事をする人というのは、ちょっとばかり人より賢いだけの人ではありません。泥臭い作業を厭わず、ドン亀のように遅くても、目標に向かって粘り強くやり抜ける人です。

2. 新しい価値を生み出す力

曖昧模糊とした計算データや実験結果、観測事実を「物理学の真理」にまで高めるには、そこから真実を切り出し、無からストーリーを紡ぎあげることが大事になると前に述べました。リンゴが木から落ちる事象を「リンゴが落ちた」ではなく、「地球とリンゴが互いに引っ張り合った」という新しい切り口で捉え直すことで、新しい物理学の真理が生まれます。また、それを使うとロケットで月まで行って帰ってくるができるし、遠く火星や金星にまで探査衛星を送り込めることに気が付くことが新しい価値の創造です。私の印象では、欧米人の研究者の方が若い頃から訓練されているせいか、新しい切り口で物事を見ることや、その切り口に新しい価値を付与することを強く意識する傾向があり、また自分の研究の「切り口の斬新性」や「新しい価値や重要性」を積極的に主張してきます(論文のイントロダクションでそのような主張が展開されます)。ですが、本来これは、八百(やおろず)の神の国に育ち、自然や真理の多面性と多様性、階層性を小さい頃から受け入れて生きている日本人たちにこそ得意なはずのことなのです。

「リンゴが木から落ちる」という現象は、「万有引力」というストーリーで語ることもできれば、「四次元時空の歪み(相対性理論)」というストーリーで語ることもできます。この二つの異なる解釈は、切り口と階層こそ異なりますが、ともに「物理学の真理」なのです。研究者に限らず、「新しい切り口で物事を見る力」は、ダイレクトに「まだ顕在化していないニーズを創造する力」や「これまでにない新しい価値を創造する力」につながります。これらは、研究職のみならず、会社に就職しても必要になる重要な能力と資質です。

3. 打たれ強さ、明るさ、愛嬌

私の経験上、研究がうまくいなくても、学会でケチンケチンになじられても、先生にこっぴどく叱られても気にしない、明るく、打たれ強い人が最後は伸びている気がします。自分のベストを尽くして、それでもうまくいかない部分は「まあ、しょうがない」と開き直れる、強い心を育ててください。また、先生や上司に

怒られても、次の日にはケロッと笑顔で先生や上司の懐に飛び込んでいく人は、人から愛されます。なかなか難しいことですが、そうなれるように少しずつでいいので意識してみてください。

(付け足し)

1のやり抜く力について付け足し。研究室では最初のうち、卒研生のプログラムコードや計算を、教員や先輩が「バグがないか」、「間違いがないか」と確認することがあります。そうした時に、「バグがあっても、少しくらい間違いがあっても先生や先輩が直してくれるから」という考え方で、100%完璧なものを目指さない人が多いです。こういう人は研究者に向きませんし、仕事に就いてもよい仕事はできません。特に、プログラムコードは100%完璧でないと正しい答えを返しません。99%しか正しくないコードは、吐き出す結果が間違えていて意味がないという点において、まったくでたらめなコードと同じです。99%と100%は、たった1%の違いですが、この最後の1%を詰めことが一番大変なのです。皆さんも中学校や高校のテストで96点や98点は取れるけど、100点を取ることは大変だった経験があると思います。これは研究職以外に就職してもまったく同じことが言えます。コンペで2位の人、入札で2位の方は、採用されなかったという意味ではビリの人と同じです。もちろん、「明日につながる2位」、「もう一息の99%」という考え方はあると思いますが、それは全力で100%を目指した人だけに許されるセリフです。と言うわけで、プログラムコードを書くときや、計算をするときは、自分の力で100%完璧なものになるように頑張ってください。そうは言っても、それが非常に難しいことは先生や先輩もちゃんと分かっています。100%でないからという理由で叱ったりしないので安心してください。

最後に

一見難しそうだけど、魅力的な「物理学」の世界。一生懸命頑張れば、自分が知らなかった自分の能力に気が付くし、皆さんが、その能力を発揮できる場所が必ずあります。特に、「物性物理学」は基礎から応用まで非常に裾野の広い学問です。量子力学や統計力学、場の量子論、計算機を駆使して、今まで誰にも知られていなかった基礎原理や物理法則を発見したり、エネルギー問題の解決や情報テクノロジーの革命に結び付く画期的な研究に取り組んだりしてみませんか？