

東北大学理学部
R02 新入生のための
学習のヒント
(ver. 1)

東北大学理学研究科・理学部

はじめに

- 本資料は，オンライン授業の環境整備の注意点やソフトウェアの使い方を教示するものではないのでご注意ください。
- 本資料の狙いは，通常であれば学科・系のオリエンテーションや日々の授業を通して暗黙のうちに身につけていく「理学部の学生に求められる学習の心得」を，無理を承知であえて明示的に教示することです。
 - オリエンテーションの中止，オンライン授業の全面導入による弊害を危惧しての試みです。

目次

1. 基本的な考え方

2. 講義のヒント

3. 演習のヒント

4. 実験のヒント

1. 基本的な考え方

高校までの授業と大学の授業では、そもそも授業の目的が全く違います。新入生の皆さんには、まずこのことを認識してもらいたいと思います。そうすれば、全学教育や理学部の専門教育の授業を楽しんだり、大学で効果的に学んだりするためのヒントも自ずと浮かび上がってきます。

(1) 高校の授業の目的、大学の授業の目的

高校までの授業、特に受験勉強の目的は「試験に合格すること」です。試験では、教員など自分以外の誰かが問題を設定し、皆さんは与えられた問題を解くだけです。正誤の判定も教員などが行います。試験合格が目標ですから、高校までの授業では試験でどんな問題が出題されるか、正解は何か、どうすれば正解できるかといった知識を身につけることが要求されます。

一方、大学、特に理学部における授業の目的は「科学的思考法を身につけること」です。科学的思考法には様々な要素が含まれますし、専門分野によってその内容は異なります。大まかに言えば、現象を客観的に観察すること、現象を説明する理論を構築すること、理論をデ

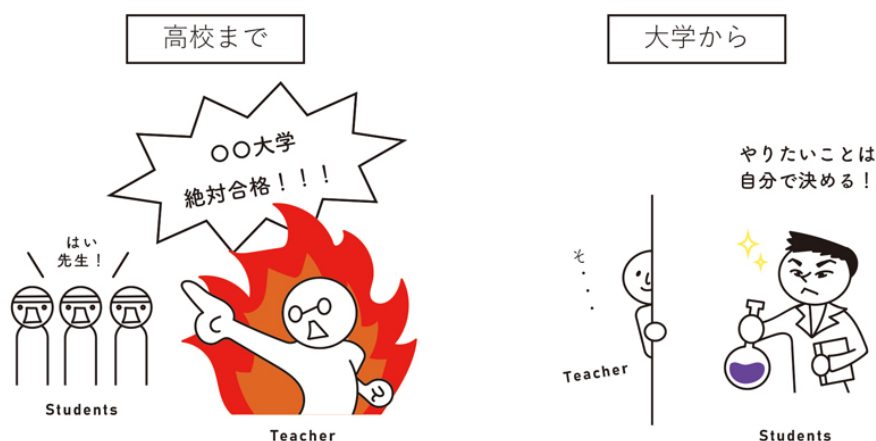
ータに基づいて検証することが科学的思考の代表例です。また、これらの要素の根幹には、予断や思い込みを排し、事実と論理に基づいて真理を探究しようとする合理的な思考があります。理学部では様々な学問を学ぶことができますが、合理性を極めて尊重する思考様式は共通しています。

科学的思考法とは何か、これは自転車の乗り方をマスターするのと同じで、科学のトレーニングを積んでいくうちに徐々に身につけていきます。そのためには、科学の実践、つまり研究を行う必要があります。

そして科学的思考法に基づき未知の問題に挑戦し解決する試みを研究と言います。研究というと研究者のための技術のように思われがちですが、ここで言う「研究」はもっと広いものです。つまり、自分自身で問題を設定し、自分自身でその問題を論理的に解決に導くことです。皆さんは学部教育の後半から大学院教育にかけて、教員の指導のもとで研究に取り組み、こういった力を身に着けます。

さらに、将来、研究者として研究を仕事として成し遂げるためには、自分が立てた問題に学術的・社会的意義があることを説得的に論証すること、その問題を解き明かしたことを客観的に証明すること

が求められます。このように研究においては、徹頭徹尾「自分で考えること」が求められます。



皆さんの中には将来、研究者になりたいと考える人もいれば、企業で活躍したい、中学校・高等学校の教員になりたいと考える人もいるでしょう。もしかすると卒業後、理学とはまったく違う分野に進む人もいるかもしれません。皆さんの人生には様々な道が拓けています。そして理学部・理学研究科で身につけた知識が直接関係ないような道を選んだとしても、未知の問題にどのようにしてアタックし、どう解決するかという科学的思考法はきっと役立ちます。このことを認識して、本学部・本研究科に在籍している間に、科学的思考法をしっかりと身につけるようにしましょう。

(2) 研究の実際

ここでは大学の学部段階で科学的思考法の基礎を身につけた大学院生が、それを真の研究力へと発展させるために、普段どのような「研究生活」を送っているかを見てみましょう。そうすれば研究とは具体的にどんなことをするのか、その中で学生がどのように成長して行くのか、大まかにイメージできるようになるはずです。なお、以下のエピソードは、複数の学生のエピソードを合成して再構成しています。

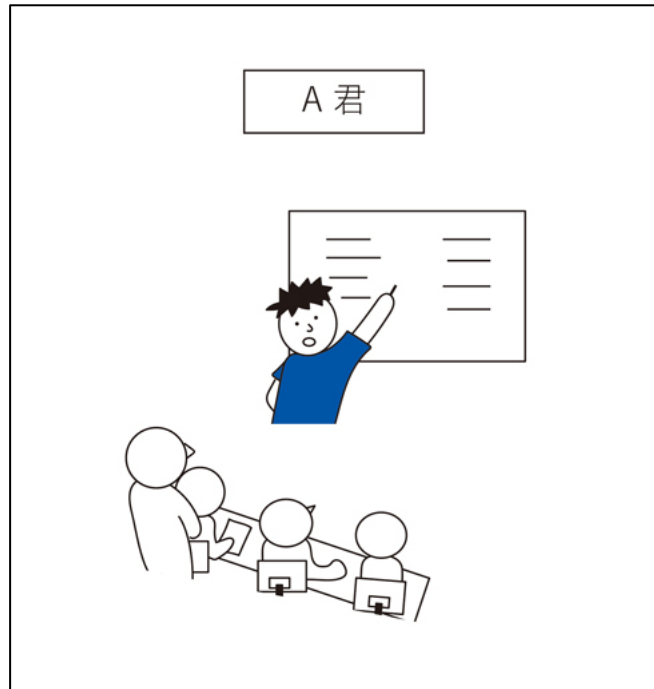
① 数学専攻の A 君

A 君は整数論と呼ばれる、整数そしてそこから派生する数の集まりや体系の特徴について研究している博士課程後期の学生です。

数学科では、学部 3 年次に「数学講究」というユニークな講義があります。ここでは、先生が講義の内容を決めるのではなく、学生が先生にどのようなテーマについて学びたいかをリクエストし、先生はそのリクエストに答える形で講義を進めます。もちろん、どんなテーマでもリクエストすれば自動的に採用されるというわけではなく、リクエストを受け付けてもらうためにはそのテーマが意味あるもの

であることを先生に納得させなければなりません。

「数学講究」を通して整数論，特にその中でも多重ゼータ値や多重ポリ・ベルヌーイ値といった特別な数の体系に関心を持った A 君は，新進気鋭の数論研究者である若手教授のセミナーに所属することにしました。



た。そして大学院では「数学講究」で学んだ知識をもとに，教授のアドバイスを受けながら，多重ゼータ値や多重ポリ・ベルヌーイ値へ解析学的にアプローチする研究に着手しました。

現在は，自分自身で設定した数学上の謎に挑みつつ，ときに先生や大学院の仲間とディスカッションしたり，学内外のセミナーやワークショップに参加し，常に学術的刺激を受けながら研究を進めています。すでに A 君の研究成果は学術論文誌に掲載されています。学術論文誌に掲載されるためには，査読という専門家による研究の妥当性・学問的意義の審査をパスする必要があります。これは，A 君の

研究成果が世界に認められたことを意味していますから、大変喜んでいました。また「自分の研究は通信技術や暗号技術と関係している。民間企業での研究開発にも興味を持ちつつある」とも語っていました。

② 物理学専攻で理論研究を行っている B 君

B 君は物性理論の分野で、流体力学・集団運動に関する研究を行っています。

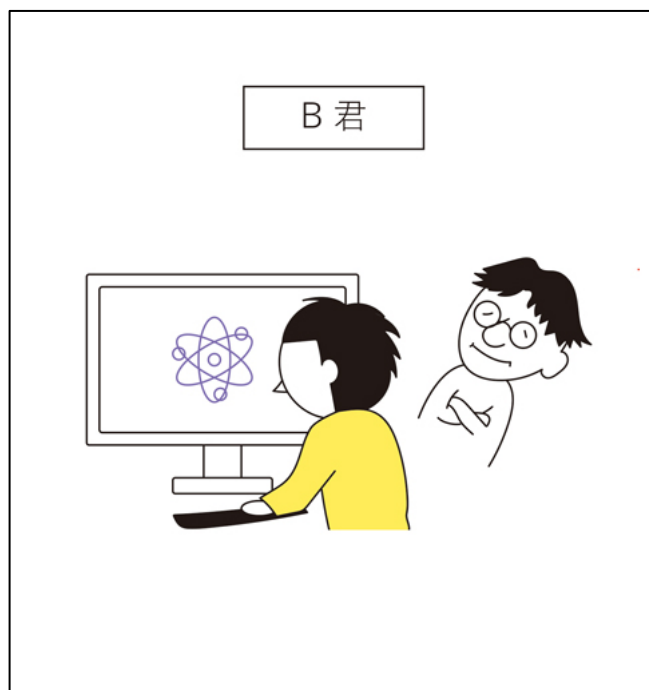
流体力学・集団運動の研究とは、例えば水の動きのように自由度が大きく、複雑な物理現象を解析する研究領域です。B 君は数理的な解析とコンピュータを駆使した数値計算の両面でこの研究に取り組んでいます。

数理解析とは、「紙と鉛筆」を使って特定の条件下における運動方程式の解を求め、その結果に基づいて物理現象に関する基本的なモデルを構築するような方法です。その一方で、近代物理学が取り扱う問題は複雑になりすぎて解析的には取り扱いえない場合もしばしばあります。このような場合に有力なのが、コンピュータを用いた数値計算です。物理的モデルをコンピューター内に仮想的に構築し、そこで

実際に“実験してみる”（シミュレーション）という手法です。

コンピュータの中では予算を気にせず実験条件を自由に変更し、何回でも行うことができますし、場合によってはあえて物理法則を変えてみるなど現実には実現不可能な条件のもとでの現象を調べることも可能です。

B 君によると、「朝起きて、数式をどう解くか考えていたら一日が終わっていた」とか「コンピュータ内で適切なモデルを構築するためにプログラムを書きながら、ふと気づいたら夜が明けていた」という



ことも珍しくはないそうです。また、週に1度の指導教員とのディスカッションでは、指導教員が「今週はどんな面白いことがわかった？」と自分の研究に関心を持ってくれるので、その期待に応えるためにも、どんどん研究を進める。B 君は、そんなハードではあるけれど、やりがいのある日々を送っています。

③ 化学専攻で実験研究を行っている C 君

C 君は有機化学の研究室で、新しい触媒、新しい化学反応の創出に取り組んでいます。

触媒や化学反応を生み出すためと言っても、新しければ何でも良い、手当たりしだいに実験をすればいいとい



うわけではありません。化学研究において意義のある触媒や反応とは何か、現時点でそれが実現していないのはなぜなのか、しっかりと調査し理解する必要があります。そして実験に際しては、研究室に蓄積した有機化学に関するノウハウや国内外の最先端の化学研究の知見を応用することで、効果的・効率的に実験を行う必要があります。もちろん、実験は一人で行うのではなく、指導教員や大学院の先輩、同期、後輩と協力して進めていきます。

C 君は約4年の月日をかけて全く新しい触媒の開発に成功しまし

た。この話を C 君に聞くと、彼は必ず粘り強く研究に取り組むことの意義を語ります。そして、こうした経験を活かして、民間企業で研究開発に取り組むことが C 君の次の夢とのことでした。

④ 大学院生の後ろ姿から学んでほしいこと

こうしたエピソードから、大学院生たちがまさに「自分が面白いと思う問題を設定もしくは選択した上で、自分自身でその問題を解いている」ことがわかってもらえんと思います。

また、大学院生が自分勝手に、自己満足で研究しているのではなく、自分が設定した問題に学術的・社会的意義があることを説得的に説明し、その問題を解き明かしたことを客観的に証明することに責任をもって取り組んでいることもわかってもらえたのではないのでしょうか。このような科学的思考法は大学・大学院において指導教員や先輩から、アドバイスや励ましを受けるだけではなく、時には厳しい批判的な評価やお互いの意見を戦わせる中で培われるものです。

ここで紹介した大学院生たちは、科学的思考法を身につけつつあり、研究者として自立できることの証として研究の到達地点を学位論文という形でまとめようとしています。大学院を修了した後、大学

などの研究機関や企業などにおいて、独立して研究に取り組む資格を得つつあると言って良いでしょう。新入生の皆さんにも、将来、そのような力を身につけてもらいたいと思います。

(3) 研究モードで授業に臨む

新入生の皆さんはこれから「科学的思考法」を身につけるための訓練を開始するわけですが、まず重要なことは「授業に対して研究モードで臨むこと」です。

皆さんはこれから様々な授業を受けますが、それに対して受験勉強モードで「試験で出題される問題とその正解や正解に至るためのコツを記憶しよう」とすると、大学の授業の意義の大半は失われてしまいます。

一方で、もし皆さんが「何か面白い問題はないか」、「自分自身でその問題を解いてやろう」といった研究モードで授業に臨めば、大学の授業は間違いなく楽しいものになりますし、その中で幅広い教養や高度な専門知を修めることになります。そして自然に科学的思考法を養うことができます。

なにも難しく考える必要はありません。ひとまず授業では自分の

頭で考えることを常に心がけてください。全てはそこから始まります。

(4) 基本のヒント：自分の頭で考えるために

自分の頭で考えるためのヒントを東北大学の全学教育や専門教育を受講する上で具体化するとそれはだいたい次のような感じになります。

全学教育で各学問の特性を学ぼう

全学教育では様々な学問の基礎知識を学びますが、その知識を覚えること自体が重要なわけではありません。クイズ王を育てることは大学の関心事ではないのです。むしろ、新入生の皆様には、その学問がどんな謎を解き明かそうとしているか、どのような観点や方法で謎に挑んでいるかといった学問の基本的な特性について考察してほしいです。理学以外の学問を学び、比較することにより自分の専門分野（学科・系）の特徴を知る手がかりも得られます。また、こうした考察によって幅広いものの見方を身につけることができるようになります。

英語は世界の共通語，数学は科学の共通語

全学教育では英語・基礎数学の学習にかなりのウェイトが割かれています。どのような学問を学ぶにせよ国際語である英語，科学を記述する共通語である数学をしっかり身につける必要があります。基礎をおろそかにしては，その上に展開すべき研究力を身につけることはできません。新入生のうちからどんどんトレーニングしておきましょう。

留学のススメ

留学は語学力アップに非常に有効です。また，留学を通して今まで自分が当たり前だと思っていた考え方，生活習慣，価値観が通じない「別の世界」を知ることで，「自分の世界」を広げ豊かにすることができます。是非とも留学について積極的に検討してください。

そして大学院に進学後には，是非とも国際共同大学院へのチャレンジも検討してください。国際共同大学院は海外の有力大学と共同で人材育成を行うプログラムです。プログラム参加中に長期の留学を経験することになり，世界の有力大学で研究活動を行うという貴

重な経験を積むことができます。参加した学生は、研究者としてはもちろん、一人の人間として大いに成長する機会を得ることができます。

専門教育でこそ研究モード！ 興味のあることは自分で調べる

大学生になり、全学教育で学問的視野を広げ、英語や基礎数学という「共通語」に慣れてくると、いよいよ専門教育の講義がスタートします。ここまで説明してきた通り、専門教育の授業に対しては研究モードで取り組むことが本質的に重要です。

単位をとるとかテストでいい点数をとるとか、そういう些末なこととはあまり気にしなくて良いです。自分の興味のあるテーマやトピックと出会ったら、それについて自分自身で調べたり、友人と話し合ったりしてください。そうすれば単位や成績は勝手についてくるものです。

逆に、こうした日々の積み重ねを怠ると、高学年になったときに「見たことがある問題は解けるけれど、新しい問題には手も足もでず研究できない」とか「知識はあるけど興味のあることがない」といった状態になり、大学生活に不適応を起こすリスクが高まります。

自主ゼミを開催しよう

文字通り自主ゼミは自分たちで開催・運営するゼミです。参加者が共通の書籍・論文を精読した上で、わかったことやわからなかったことを共有して教え合ったり、対象となる書籍・論文を応用したり発展させたりするアイデアを検討したり、納得行かない点を批判的に検討したりといったことを行います。

いきなり「自主ゼミを開催しよう」と言われても、ゼミで取り上げるべきテーマを見つけるのに苦労するかもしれません。手っ取り早い方法としては、授業の参考文献を取り上げることです。

また、各専攻で開催されているワークショップやシンポジウムに参加して、その内容についてディスカッションするのも有効です。こちらの方法には、教員や先輩との交流も生まれやすいというメリットもあります。

教員と関わろう 一質問のコツ

授業やワークショップ、シンポジウムに参加したら是非とも教員に質問したり、自分のアイデアについての意見を尋ねたりしましょ

う。

大学教員は、ほぼ例外なく研究好きであり、自分の研究分野について学生から質問が来ることを歓迎する人がほとんどです。学術的な質問に関して遠慮は無用です。もちろん一般常識は守ってください。

一般常識もさることながら、「研究モード」で質問することはもっと大事です。自分自身がもっと学ぶためのヒントを得るための質問と言い換えても良いです。この手の質問として、一番、ハードルの低い質問は「このテーマについてもっと勉強したいのでオススメの本や論文を教えてください」といった質問でしょうか。また、授業などで紹介された本を自分で読んで興味のある論点があれば、その点についての自分の考えを述べて教員にコメントを求めてもいいでしょう。こうした中で、教員から逆質問が来ることもあります。「この本どうだった？」とか「なにかおもしろい論点あった？」とかです。

このようにひとまず気軽に教員に質問すればそれがきっかけとなって、様々なおもしろいコミュニケーションが生じます。遠慮は無用。まずは質問してみましょう。

(5) 小括：失敗を恐れずチャレンジしていこう

次節以降、「研究モードで授業に臨むこと」の具体例を講義, 演習, 実験といった授業形態に分けて説明します。

残念ながら、自転車の運転方法を完全にはマニュアル化できないのと同じように、研究モードを明確に定義して過不足なくその内容を列挙することはできません。以下の記述を参考に、自分流の研究モードを構築していただきます。

たまには失敗して先生に怒られたり単位を落としたりするかもしれませんが、それは試行錯誤につきものの「転んだり膝を擦りむ



いたり」ですので、失敗を恐れるよりも何もしないことを恐れ、積極的に授業に取り組んでいきましょう。

2. 講義のヒント

新しい概念については、それを暗記する前に、意味を想像すること

アインシュタインが「もし人が、光と同じスピードで光を追いかけたら、その光はどのような風に見えるのだろうか？」と夢想したエピソードが有名ですが、このような形で普段から概念を単なる言葉として暗記するのではなく、その概念が示す対象そのものに想像を及ぼせることは、研究においては重要な知的習慣です。

もちろん、大学の専門教育では単なるイメージにとどまらず、その意味を構造的・精密的に理解する必要があります。学問においては、穴埋め問題を解くような用語の知識よりも、それらが意味する対象の理解がより重要ということです。

大学において専門教育がスタートすると新しい概念が次から次へと登場します。受験勉強では公式や問題のパターンを暗記することでテストを乗り切ることが可能かもしれません。新しい概念の中身を理解せず、その概念を「専門用語」として字面だけを覚えたり、公式だけを暗記してなんとか演習問題を解くことができたとしても、将来の研究力を養うことには繋がりません。公式そのものを覚えることよりも、その公式がどのような科学的意味を持つのか、なぜその

公式が成り立つのかを理解することが重要です。

概念の本質、公式がなぜ成立するのかを理解していれば、必要ならば公式は自分で導くことができます。そして、きちんと理解した後は、毎回解を導かなくても教科書を見れば良いことです。こうした理解は、新しい概念や公式の意味を本質から理解し、そしてそれを別の問題へ応用できるようになるために重要です。新しい問題を解くための計算や、自然現象の振る舞いを調べるための実験を遂行するなかで、身につけた概念、本質を理解した公式などを自由自在に扱えるか、絶えず自ら問い直してください。

もちろん、先生の言っていることが理解できる程度の最低限の専門用語の知識や何度も使うような基礎的な公式を覚えることも必要です。「暗記してはダメ」と言っているのではなく、「暗記を目的としてはダメ」ということです。

数式を体験すること

通常の講義では、先生が数式を板書していき、学生がそれをノートしていくといったことがしばしばあります。これは別に精神修養の一環として写経しているわけではありません。先生の数理的な思考

をトレースしながら数式の展開を追体験しているのです。英語のシャドウイングと同じで、体に染み付かせているわけです。

頭を空っぽにして単に手を動かしているだけならあまり意味がありませんが、理学部の学生なら手を動かして数式を追っていけば自然に頭も動くものです。そうすれば自分がどこに引っかかっているかなどにも気づくことになります。このようにして数式の展開を身に着けることで、自ら数学や解析計算を行う準備が徐々に整ってきます。

オンライン授業では、板書ができないこともあります。だからといって、パソコンの画面上に数式が出てきて、それをボーッと眺めたりコピーや印刷して綺麗なノートを作ったりしても、なんの意味もありません。必ず自らの手で数式を書き下してください。なぜその式が公式と呼ばれるのか考えてみて下さい。そしてわからないところがあれば、先生や学習支援センターの SLA (student learning assistant), キャンパスライフ支援室の TA に相談してください。

3. 演習のヒント

高校までは、試験や問題集の問題を解くことができるように公式を覚える、というのが勉強だったかもしれません。大学における問題演習はそれとは逆に、新しい概念や新たに学んだ公式に習熟し、自由自在に駆使できるようにするために存在します。演習問題を解くことが目的なのではなく、様々な演習問題を解くうちに、教科書や講義で一度学んだだけでは完全には理解することが難しい新しい概念が染み込んでくるのです。

演習問題の答えが合った、間違っただけということで一喜一憂するのではなく、自分の解法と模範解答を比べてどこが違うのかを見比べてみましょう。そのうちに新たな発見があることもしばしばあります。また、解法は一つではありませんし、先生の解法が必ずしも最善とは限らないこともあるので、先生や TA、友人たちといろいろな議論を行うことも重要です。

4. 実験のヒント

自然科学は素粒子から宇宙まで、この世にあるあらゆることを対象としてその振る舞いを理解しようとする学問なので、実験・観測といった手段でそれらの振る舞いを実際に調べるのが欠かせません。理論的考察で新たな現象を予想しても、それだけで法則として認められることはありません。必ず実験・観測で検証されることが必要です。そして実験・観測により、それまで予期していない新たな現象が発見されることにより、さらに理論が進むという車の両輪の働きをしています。

実験の背後にある意図を理解すること

当たり前のことですが、実験は科学的な目的をもってデザインされています。その目的を軽視して、ただ単に実験の手順を覚えるようでは科学とは言えませんし、科学的思考を身につけることにも繋がりません。実験の手順の背後にある科学的な目的をしっかりと理解したうえで、「なぜこのような実験を行うのか」「なぜこのような手順になっているのか」を省察することを忘れないようにしてください。

実験の現場を楽しむこと

大学では高校までは十分に経験することのできなかった実験を行う機会が沢山あります。実際に自分で実験を行うと、教科書に載っているような綺麗なデータが測定できるとは限らず、様々な誤差を含んだ結果になり驚くこともあるかもしれません。

しかし、統計学に基づく誤差の評価を行い、誤差の原因を慎重に考慮することで、誤差に隠された自然の振る舞いの規則＝法則を発見することができます。この実験の醍醐味を学生の皆さんに味わってもらいたいと思います。

残念ながら、令和2年度前期では新入生の皆さんに実験を行ってもらう機会はなさそうです。しかし、近い将来、必ず皆さんは実験を体験します。その時を楽しみにしてください。

実験レポートとはなにか

実験結果を他人に分かる形で伝える「レポートの書き方」を学ぶことも学生実験の大きな目的です。

これまでに学んだ感想文や小論文の書き方の癖が抜けないのか「良いデータが取れて嬉しかった」といった個人の感想を記載する

学生もいますが、これは実験レポートには不要な情報です。客観的に観測事実を報告してください。そして論理的な考察を加える訓練を十分に積んで、将来、学位論文（卒論、修士論文、博士論文）や学術論文を書くためのトレーニングを積んでください。

本資料への問い合わせ

理学教育研究支援センター 西村 君平

kunpei.nishimura.a6@tohoku.ac.jp

022-795-3850