

物理学とは

物理学とは、実験と理論が手に手を携え、我々を取りまく森羅万象のメカニズムや謎を一つ一つ解き明かし、それらを普遍的な法則や概念にまとめ上げていく学問体系です。七色の虹や美しい対称的な形の雪の結晶がどうやってできるのか、水が凍ったり蒸気になったりする相転移はなぜ起きるのかなどの身近な現象から、宇宙はどのようにしてでき、どうやってゆくのか、それを認識する我々という生命はどうやってできたのかという壮大な疑問まで、さらに最近では株価の変動や交通渋滞など経済・社会現象までも含めて極めて多様な対象を扱う学問です。

日本では、物理学といえば戦後間もなくノーベル物理学賞を受賞した湯川秀樹と朝永振一郎の影響が今もって大きく、原子・分子、原子核、素粒子にいたる要素還元論的な学問のイメージが強いといえます。実際、その方向の物理学は大きな成功を収め、今やヒッグス粒子という質量の起源をも解明し、ダークマターなど未知の粒子にも迫ろうとしています。また、素粒子の世界が宇宙の始まりの理解につながっているようで、極微と極大の世界が密接な関係にあることが解明されつつあり、大きな驚きをもって受け止められています。

一方、この要素還元論的な物理学とは方向性の異なる分野、つまり、異なる現象の関係をつなぎ、物理学の対象を横に広げる志向の分野もまた重要です。例えば、熱力学や統計力学は、対象やスケールの違いを超えてさまざまな系に適用でき、それらの上に築かれた物性物理、非平衡物理、生物物理、量子情報物理などでは、物理学の対象をさらに拡張しつつあります。例えば、我々の鼻が匂いを嗅ぎ分ける仕組み、DNA で突然変異が起こるメカニズム、渡り鳥やサケが生まれ故郷の方向をどのようにして知ることかなど、さまざまな生物現象には量子物理学というトンネル効果やコヒーレント状態という概念が重要な役割を演じていることが明らかにされつつあります。このように、物理学の概念や手法は、いろいろな方向性を持って進化し、さまざまな学問分野だけでなく社会やテクノロジーに影響を及ぼし続けています。



物理学の分野と広がり

勉強と研究はまったく違う

高校や大学学部で勉強する物理学は、学問体系として確立した物理学です。先人たちが発見した法則や原理原則、先人たちが解決した謎の答えや理屈を体系化された形で順序よく学びます。理解を深めるために答えのわかっている演習問題を解いたり、先人たちがやった実験を再現してみたりして、さまざまな発見や発明を追体験して学ぶことが「勉強」です。また、教科書に載っている章末問題や大学・大学院入試問題、大学の学期末試験問題などは、誰が解いても同じ答えにたどり着く **well-defined** な問題で、勉強したことが身についているかどうかを試す問題です。

ところが、学部4年生での卒業研究や大学院に進学してからやる研究は、それまでにやってきた勉強とまったく違います。なぜなら、基本的に「答えのわかっていない問題」に取り組むからです。ときには答えがあるのかどうかさえわからない研究テーマに挑みます。答えがあるのかどうか研究してみなければわからないからです。言ってみれば、羅針盤の無いまま航海に出るようなもので、大きな不安のなかで、自分なりの戦略や勘を頼りに突き進んでいくという行為です（もちろん指導教員や共同研究者のアドバイスを受けながら）。そのような研究の努力の結果、幸運にも新しい発見や発明にめぐり逢えたら、その新しい知見が学問体系のなかに組み込まれ、その結果、学問のフロンティアが押し広げられることとなります。ですので、研究とは、体系化され確立された学問体系の「外側」を探る行為であるといえます。

このような、言ってみれば手探り状態で進む研究で生み出された成果から学問体系が構築されるまでには多くの研究者の長年にわたる努力の積み重ねが必要です。学部までは、ある分野の学問体系を半年や1年間の講義であつというまに学ぶことができますが、それだけの学問体系を作り出すには、何十年、ときには100年を超える研究の蓄積が必要なのです。このように研究とは極めて効率の悪い知的活動です。大学院に入りたての学生の中にはそのようなことを認識しておらず、自分の研究が遅々として進まないのを嘆いて悲観的になる人がいますが、研究と勉強とは効率がまったく違う行為であることをしっかりと認識すべきです。研究では今までやってきた勉強のように簡単には答えが得られません。

大学院に入ると難しい専門書をたくさん読んで、その分野のことはなんでも知っている学識のある学者になるのが目標だというイメージで大学院に入ってくる学生がいるかもしれませんが、それは学部までの「勉強」の延長線のイメージであって、実際は上述のように答えのわからない「研究」をやるのが大学院での目的です。研究を進めるために必要なことを勉強することはあっても、勉強はあくまで研究を進めるための手段に過ぎません。

もう一つ、勉強と研究の違いから来る誤解があります。勉強ができる優秀な学生が必ずすばらしい研究者になれるかということ、そうではない場合もあるということです。学部までに優秀な成績をとってきた学生がすばらしい研究をやるとは限りません。逆に、少し勉

強は苦手だったという学生が大学院で研究を始めると、めきめき頭角をあらわして顕著な研究成果を次々とあげる場合もあります。学部までのいわゆる優秀な学生のなかには、答えのわからない問題、答えがあるのかどうかさえわからない問題に取り組むために必要な「タフな精神力」が弱い学生が少ないながらいるようです。あるいは、すぐに答えの出ない研究を粘り強く続ける忍耐力が弱いという例も成績優秀な学生のなかにはときどき見受けられます。答えのわからない課題、答えがあるのかどうかさえわからない研究を続けていると、「こんな研究をやっていて本当に成果が得られるのか、そもそも意味があるのか」と不安になってきます。研究は、そのような不安と戦いながら続けるものなのです。

さらには、勉強では間違ってはいけないということが一番大切だったので、そのことが骨の髄まで染み込んでしまい、研究でも間違ってはいけないという心理が強く働きすぎて、挑戦的な研究ができないという学生もいるように見受けられます。失敗してもいいからチャレンジしてみる、といった考え方が研究者には必須ですが、そのようなチャレンジ精神が「勉強」をやっているうちに削がれてしまったような学生がいるのは確かです。逆に学部時代には成績の振るわなかった学生が、後先や損得をあまり考えずに、あるいは間違いを恐れずに猪突猛進的な勢いで研究に没頭してすばらしい成果を挙げる場合もあります。たとえば、高校までにやった課題研究や夏休み自由研究で、仲間と一緒にどんどん研究を拡げて進めたという経験を快感として感じた学生は、おそらく研究者に向いているでしょう。逆に、自由研究では、どんな方法でどこまでやればいいのかわからないので嫌いだった、答えがすぐに出ないので嫌だったという人は多分研究者には向いていません。どこまでも研究して追求してみたいという抑えられない動機と、いろいろを試してみたいという自由な発想が、研究の原動力になるのです。そういった志向の弱い人は研究者以外の道を探したほうがいいでしょう。

研究スタイルと研究テーマの設定

物理学に限らないことですが、とくに物理学では、研究テーマの設定と研究の進め方は、分野によって、あるいは研究者によって千差万別です。2013年のノーベル物理学賞の対象になったヒッグス粒子の実験的発見のためには約 3,000 人のチームが 2 つ独立して並行に実験を進めていました。これは史上最大の例ですが、加速器や人工衛星を使った素粒子・原子核物理学や宇宙物理学の研究では、十数人から 100 人程度のチームで研究するのが普通です。2015年のノーベル賞を受賞した東京大学宇宙線研究所の梶田隆章教授のニュートリノの実験も数十人のチームでの研究でした。私が専門とする物性物理学の研究ではずっと小規模で、3, 4 人のチームで研究することが多いのですが、10 人を超える共同研究も最近では珍しくありません。2014年のノーベル賞の対象になった青色 LED (発光ダイオード) の研究は、赤崎^{あかさきいさむ}勇研究室に入って来た天野浩院生が教授とともに細々と続けていた研究が

花開いたものです。上記のヒッグス粒子でも理論研究の論文は1人か2人の著者だけです。そのような場合、昔ながらに黙々と机に向かって研究する学者というイメージが当てはまる研究スタイルでしょうが、しかし、理論研究といっても、現在は、スーパーコンピュータを活用する研究も多くなり、昔ながらの「紙と鉛筆」だけで理論を考えるとというスタイルばかりではなくなっています。

大人数での共同研究の場合、リーダー的研究者がテーマの設定や役割分担などを決めて研究を進めるでしょうが、トップダウン的なやり方ばかりで研究が進むわけではありません。ちょっとしたアイデアを若手の研究者が提案して、それがきっかけになって実験の精度や効率が飛躍的に向上してチーム全体の研究を成功に導いたという例は希ではありません。小さなアイデアから自然発生的にチームができ、共同研究が広がるにつれてチームが大きくなっていく場合もあります。

研究テーマや目標は、ヒッグス粒子を発見するとか、重力波を検出するとか、初めから明確に設定されている場合もありますが、それとは違って、例えばニュートリノ研究を始めた小柴昌俊教授の研究は、陽子崩壊現象を見つけるという別の目的で研究を進めていくうちに、目的とは違った発見に偶然たどり着いたという例もあります。思わぬところで予期せぬ発見をすることをセレンディピティ *serendipity* といいますが、科学の歴史を見るとセレンディピティの例は極めて多数にのびります。

しかしながら、思いもよらない偶然の発見を最初から当てにして研究を進めるわけにはいきませんので、研究を始めるにはそれなりの成果がいちおう期待できるテーマなり目標を設定して走り出します。4年生の卒業研究や大学院に入りたての学生の研究テーマは、もちろん指導教員との相談のもとで設定されることが多いことでしょう。特定の分野の研究状況の知識を多少持っていたとしても、4年生の1年間や修士課程の2年間、あるいは博士課程3年間である程度の成果としてまとめられるテーマで、しかもそれなりに意味のあるテーマを学生一人で設定するのは容易ではありません。途方もない壮大なテーマを設定してしまうと、とても修業年限では何の成果も得られないという状況になるかもしれませんし、逆に、すぐに解決してしまう「小ネタ」では修士論文や博士論文にふさわしい価値のある成果となるかどうか疑問です。

多くの場合、所属する研究室の従来路線の延長線のテーマを設定するのが安全策で、その場合にはある程度の成果は確実に見込めます。「巨人の肩に立つ」とはニュートンも使った言葉ですが、所属する研究室の実績の上に乗れば、そこはすでにある程度の高みにあるので、その上でちょっとした新しいことをやれば、卒論や修論、博論になる成果となるでしょう。しかし、そのような安全策的なテーマであっても実際にやってみると、見込み通りに成果が出ない場合も多いものです。研究はとにかく一筋縄ではいきません。

研究を進めていると、当初目指したテーマから脇道にそれたところに面白いテーマが転がっていることに気づくことがあります。そのような場合には柔軟に研究の方向性を修正して研究を進めることもありますが、チーム研究の場合、チーム全体の当初の目標を変更

できないので、脇道に入ってその面白そうなテーマを「深追い」する余裕はありません。そのような場合には、そのテーマは心の奥底にしまい込んで、いつか時間ができたときにじっくり取り組むべきテーマとして温めておくようにします。

最近では研究競争が激化し、論文出版競争や研究費獲得競争に研究者は翻弄されます。そのため、論文として発表する前の成果を学会で発表するのを避けたり、将来展望としての研究課題を学会発表のなかで軽々に喋らないよう気を使ったりします。研究の手法やアイデアが他の人に先取りされたりするかもしれないので。しかし、学会に出席して自分の研究に関連する発表を聴講すると、自分の研究テーマに活かせるヒントを得ることが少なからずあります。自分がいままで考えていなかった着想での研究、考えたこともなかった展開の仕方などが、他の研究者の発表によって触発されてひらめくことがあります。学会での交流は現在進行形で動いている「生の情報」に触れる貴重な機会であり、文献をサーベイするだけでは得られないヒントをもらえることがあります。とくに研究テーマの設定のために重要なひらめきを学会で得たという経験を私は何度もしていますので、学会や国際会議には積極的に出席するようにしています。「犬も歩けば棒に当たる」的なことが実際に起こるものだと私は実感していますが、実際に「歩いて」いないと「棒」にもあたりません。研究室に閉じこもり、自分の頭だけで悶々と考えていても限界があります。

研究は一人ではできません

学部4年生になって卒業研究を始めたり大学院に入って研究を始めたりするときに、優秀な学生が戸惑うことは、上述の勉強と研究の違いだけでなく、研究の進め方に関するいくつかあるようです。勉強は基本的には一人でやるものですが、それとは違って研究は基本的には一人でやるものではありません。実験研究ではもちろん先生や先輩からいろいろなテクニックを教わりながら進めますので、このことは容易に理解できるでしょうが、頭のなかで黙々と考える理論研究でも実はひとりでやっていけるものではありません。先生や先輩たちとのディスカッションが研究の飛躍に重要なきっかけを作る場合が多いものです。研究室のセミナーで自分が考えたことを発表し、研究室のメンバーにいろいろな意見をもらって、それらを自分の研究にフィードバックしていくと必ず実り多い方向に進んでいくもので、それは実験、理論ともに共通する事実です。

このような他人とのコミュニケーションが研究活動の重要な部分を占めることが、大学院に入りたての学生にはあまり認識されていないという例も見受けられます。研究に行き詰まり、誰に相談することもなく、悶々と無駄に時間を過ごしてしまい、結局、自分には研究の才能が無いんだと悲観する学生がいるようですが、それは、くどいようですが、勉強と研究の違いを理解していない悲劇的な例です。アインシュタインのような大天才ならいざしらず、“並みの秀才”の学生がひとりで研究を推し進めることなど無理だと考えたほ

うがいいでしょう。もう一度言いますが、研究は勉強のように簡単ではないのです。所属する研究室での先生や先輩、後輩との議論、あるいは学会などでの関連研究者との雑談などを自分の研究の推進に有効に活かせるかどうかは実は生死を分ける最重要ポイントだとしっかり認識すべきです。先生や先輩は、それなりの研究の経験を持っていますので、それを利用しない手はありません。そのような援助を受けながら、自分が主体的に研究を進められるという才能は、実は研究者として成功するために重要な要素だといえます。誰の助けも借りずに研究を進めてみせるなどと考える学生がいたら、その人は十中八九、研究者としては伸びないでしょう。ひょっとしたら最初のちょっとした成果は誰の助けも借りずに出せるかもしれませんが、継続的にそれなりの成果を出し続けるには、研究室のメンバーとの議論や学会での情報収集などが必要不可欠になります。研究者は、他の研究者と相互作用することが不可欠で、研究者コミュニティのなかでうまくコミュニケーションをとりながら生きていかなければ研究者としてやっていけません。

研究者になるわけではないのになぜ研究をやるのか

ここまで、研究とはどういうものか、研究を進めるコツなどを書いてきましたが、学部学生の多くは、「自分は、大学院の修士課程ぐらいは行って研究を少しかじってみたいが、最終的に研究者になることを目指しているわけではないのに、なぜ、研究をやらなければならないのか、なぜ、研究者の心得などを学ぶ必要があるのか」と疑問に思うかもしれません。実際、修士課程修了後、多くの学生たちは大学院でやった研究とは無関係の業界に就職していきますし、就職先で必ずしも研究職に就くわけでもありません。それなのになぜ研究のやり方などを学ぶ必要があるのかと疑問に思うでしょうが、それは、「研究」を狭い意味でしか捉えていないことからくる誤解です。

先にも書きましたが、研究とは「答えのわかっていない問題」に取り組むことです。これは、メーカーでは今までにない新製品を開発する、銀行や証券会社では今までにない金融商品を開発する、コンサルティングやサービス業では新しい形のサービスを考え出す、といったことと同じなのです。「そんなことはない、やっていることは全然違うじゃないか」と思うかもしれませんが、さまざまな業種で創造的な仕事をする場合、その進め方や考え方は研究とまったく同じです。多分、この文章を読んでいる学生諸君の多くはさまざまな業種・職種に就職していくでしょうが、就職してから従来通りの商品やサービスを従来通りに作って売っていけばいいという職場には配属されないでしょう。きっと、今までにない新しいことを考えて作ってみてください、という要求がくる職場に行くはずです。そのとき、どのような目標を設定し、それを実現するために、どのような情報をかき集め、どんな戦略のもとにどのようなチームを作って、どのように目標にアタックするかを考えるはずです。その会社や組織では経験したことのないことや前例のないことをやる、消費者

に受け入れられるのかどうか分からない製品を作るといった、まさに「答えがあるのかどうか分からない課題」にチャレンジする場面に必ず出くわすでしょう。それは、大学院での研究で経験したプロセスと同じです。だから、大学院での研究の経験は、その専門性とは違った業種・職種に就職したとしても、どんな知的職業にも共通して役立つものなのだと信じています。

「勉強」で得られるものは、ある専門分野での単なる知識やスキルですが、「研究」によって得られるものは、あることを成し遂げるために必要な「人間力」です。限られた時間、自分が使える実験設備やコンピュータ能力の限界、少ない研究費などの制約のもとで、指導者や共同研究者の助けをうまく活かしながら、それなりに意味のある成果にまとめていくというプロセスを経験すること自体が、研究に限らず、創造的な仕事をやることが求められるさまざまな知的職業に共通して役立つ訓練となっているはずです。研究者にならない学生にとっては、大学院で経験する研究は、そのような訓練の題材なのです。だから、何を研究したか、どんな研究成果をあげたか、が重要ではなく、研究のプロセスのなかで、目標に到達するためにどのような戦略を立て、必要なツールやリソースをかき集めてどう問題を解決したか、壁や困難にぶつかったときには、それをどう乗り越えたか、という経験自体が最も貴重なものであって、学んだ専門知識やスキル自体はその後の人生においてそれほど重要ではなくなります。その意味で、大学院での「研究」、そのための準備としての学部での「勉強」は、専門分野によらず、知的職業のために共通項として貴重なのです。

●より深く知るために

長谷川 修司 (2015). 『研究者としてうまくやっていくには——組織の力を研究に活かす——』 講談社 (ブルーバックス)

大学生・大学院生、ポスドク・助教、准教授・研究グループリーダー、教授・シニア研究者と、キャリアの各段階で、研究者としてうまくやっていくために必要なスキルやノウハウを解説しています。

酒井 邦嘉 (2006). 『科学者という仕事』 中公新書

アインシュタインやニュートン、朝永振一郎、寺田寅彦などの偉人たちが残した名言を頼りに、科学研究の意味や科学者のあり方を論じています。研究は芸術家がめざす自己表現と何ら変わらない、というフレーズは私が一番気に入っているものです。

ピーター・F・ドラッカー著、上田 惇生 訳 (2001), 『マネジメント』 ダイヤモンド社会経営のバイブルと言われる名著ですが、研究者に置き換えて読んでも示唆に富む本です。『我々は何を売りたいか』ではなく、『顧客は何を買いたいか』を問う」というフレーズは、研究者にとってもいろいろな場面で応用できる貴重な考え方です。研究者にとって「顧客」とは何なのか考えてみてください。