

# 1 類新入生のための物理学系案内



東京工業大学 理学院 物理学系

2016年4月

# 目次

<b>第I部 教員からのメッセージ</b>		<b>1</b>
1 新入生のみなさんへ	金森 英人	1
2 物理屋の考え方	久世 正弘	3
3 物理学とは何だろうか	西森 秀稔	4
4 1類1年次物理学関係科目の履修について	田中 秀数	5
5 「大学物理」カリキュラム	古賀 昌久	6
6 物理の学生実験で何を学ぶか	吉野 淳二	9
7 Physics in English	Todd Tilma	11
8 卒業後の進路について	旭 耕一郎	12
9 将来の進路を考えるにあたって	中村 隆司	13
<b>第II部 教員・研究室の紹介</b>		<b>14</b>
10 物性物理学・理論	7研究室	14
11 物性物理学・実験	14研究室	17
12 基礎物理学・理論	4研究室	28
13 基礎物理学・実験	8研究室	32
<b>第III部 先輩からのメッセージ</b>		<b>38</b>
14 海外留学のススメ		38
15 海外留学のススメ		39
16 先輩からの一言		40
17 女性の皆様へ		41
18 物理は楽しい		43
19 物理学系に入るまでにやってほしいこと		44
20 先輩からの一言		45
21 先輩からの一言		47
<b>第IV部 物理学系教員が推薦する図書</b>		<b>49</b>

物理学系 ホームページ：<http://educ.titech.ac.jp/phys>

表紙写真：1922年に東京高等工業学校（現・東京工業大学）を訪問し、  
手島精一元校長銅像前で歓迎の挨拶を受けるアインシュタイン夫妻

## 第I部

# 教員からのメッセージ

## 1 新入生のみなさんへ

平成25年度 旧物理学科長 金森 英人

新入生のみなさん、東工大理学院へようこそ。

東工大理学院は数学系、物理学系、化学系、地球惑星科学系の4つの系で構成され、理工系の最も基本的な科目を学ぶ学部であり、それぞれが現代社会を支える科学技術の基礎の部分を担っています。ところで、みなさんは「理学」という言葉の意味はどのようにとらえて理学部を選択しましたか？入学の機会にあらためて、その意味を人類の歴史を通して見直してみましょう。古代人類にとって最も感心の高かった自然現象の一つは天体の運行でした。狩猟・農耕時代にはその周期性を認識し、暦という概念として生活に役に立っていたようです。文献として残されている資料としては、紀元前300年代のギリシャの哲学者等による地動説と天動説があります。それらは単なるアイデアの提示ではなく、実際の天体の配置や運行をどれだけ説明できるかという科学的なレベルであったそうです。地動説 vs 天動説のような論争は日々の生活を豊かにするべくもないにもかかわらず、2300年間も価値ある文献として保持してきた我々人類の見識にも誇らしさを感じます。人類のDNAには役に立つ、立たないを超越して、自然の本質を解明したいとする科学的探求心が埋め込まれているに違いありません。しかしながら、ギリシャ時代から時代を進めると、人類は宗教という強大で完成度の高い概念を構築し、森羅万象をその体系の中に取り込もうとします。これは中世まで続きますが、人類の科学的思考は自然の観測・観察を通して、自然を支配している真理を宗教から次第に開放していきます。典型的な例が、ご存知、コペルニクスの地動説であり、ガリレオに引き継がれました。その後の近代での自然科学の発展はめざましく、数学、天文学、物理学、化学、生物学と分割しながら発展し、それぞれの分野で様々な基本法則や普遍的真理が解明され、それらは人類の共通財産として今日の科学技術社会を支えています。

このように人類がその長い歴史の中で培ってきた科学的探求心を現代においてさらに発展させるための場が大学の理学部なのです。みなさんは知的好奇心の赴くままに学び、研究できるという人類の本質的な喜びを享受することが許された極めて恵まれた立場にあることをぜひ認識して下さい。

さて、その理学の中における物理学を一言で言えば、まさに自然を支配する真理の探求を目指す学問といえます。まったく関係ないような異なる自然事象であっても、それを支配している共通の根本原理を見抜くことが物理学者の仕事です。したがって、物理学者はできるだけ単純で適用範囲が広い普遍原理を探し出すことを常に目標としてきました。例えばニュートンの運動方程式はリンゴの落下のみならず、銀河の運動から空気を構成している分子の自由運動までも取り扱う事ができる基本法則です。

現代物理学においても、このような価値観に基づき、最先端の科学技術を自ら開発しながら、物質の根源を探求する研究が進められてきました。その結果、物質の構成要素は分子、原子、原子核、クォークという階層構造をなすことが次々と解明され、さらにそれらの粒子間に働く力を統一的に説明する原理が探求されています。

一方、全く逆に、個々の要素を単独で見ると単純な法則に従っているのだが、多数集まって複雑に絡み合うと全体として思いもかけない性質が現れたり、特殊な機能を発揮したりすることがあります。この例が100億個の神経細胞からなる人類の脳のような巨大なシステムです。このような複雑系の科学と呼ばれるような課題も物理学の研究対象となり、今世紀の新しい潮流になるとされています。

このパンフレットには物理学系における教育や研究の概要紹介のみならず、先生や先輩からのみなさんへのメッセージがたくさん掲載されています。ぜひ、これを読んで、物理学系では何を目指し、何を学び、どこへ進むのかをよく考え、自分の将来の選択の参考にして下さい。

## 2 物理屋の考え方

平成22年度 旧物理学科長 久世 正弘

新入生の皆さん、入学おめでとうございます。皆さんはこれから1年間、基礎科目を学びながら所属する学科を考えていくことになるわけですが、物理をやっている人というのはどういう考え方をする人たちなのでしょうか。個人的に思うことを書いてみます。

物理を研究している人の考え方の特徴として、「スケールの感覚」というようなものを挙げられるのではないかと思います。日常的な長さのスケールから始まって、結晶の構造、原子の大きさ、原子核の大きさ、さらに極微の素粒子の世界に至るまでの階層構造、あるいは逆に恒星、銀河、宇宙の大局的構造のように非常に大きな距離への階層構造と、スケールが変わるごとに自然の見え方は大きく異なってきます。

また、エネルギーのスケールという考え方もします。我々が日常で体験する現象の多くは化学反応のエネルギースケールですが、原子核の反応（太陽での核融合や原子力発電など）で解放されるエネルギーはその100万倍程度、さらにビッグバン直後の宇宙では途方もなく高いエネルギーの物理現象が起きていたはずです。

物理をやっている人は、こういう何桁もスケールの異なる現象の間を、想像力を働かせて自由に飛躍して考えることができるのが特徴ではないかと私は思っています。そしてそれぞれのスケールで自然を支配している物理法則は何か、どのような物理の手法を用いればそこでの現象を最もよく理解できるのか、と考えるゆきます。その時にはオーダー（桁数）の考え方が大事で、細かい数字よりも、ある効果が別のものに比べて10倍なのか、100倍なのか、オーダーを見積って本質的なことに迫ろうというのが物理の人の考え方だと思います。

その一方で、全くスケールの異なる世界での現象が実は同じ原理から導かれているというのを発見するのも、物理の醍醐味です。電波も、光も、もっと波長の短いX線やガンマ線も同じマックスウェル方程式に従う電磁波ですし、地球上での重力も遠い銀河を形成している重力も全く同じ逆2乗則に従います。このように、一見異なる現象の間に何か共通の原理を見出し、統一的に説明しようとするのは、物理をやる人のとても好きな考え方です。

様々な現象を積み重ねて経験則を作るだけではなく、その背後に流れている本質的な原理にたどり着いてさらに別の現象を予測する。物理屋さんは「第一原理から出発して」という言い方をよくしますが、根本の原理は何だろう、といつも考える習慣のある人は物理に向いているのではないかと思います。

もちろん、このような考え方は物理以外の学問（特に理学部）にも共通する部分はあると思いますが、私のまわりの物理学系の住人を見ていると、やはり物理屋特有の思考形式があるのではないかと思います。このような住人に興味のある人は、どうぞ物理学系ホームページ <http://educ.titech.ac.jp/phys> を訪れてみて下さい。

### 3 物理学とは何だろうか

平成21年度 旧物理学科長 西森 秀稔

物理学というのは考えてみると、ちょっと不思議な学問である。自然界の諸現象の背後に潜む法則を解明することが大目標であるが、普遍的な基本法則の正当性や普遍法則の存在自体を問いただすことはない。思い違いをしている人が多いが、基本法則から出発して自然界の物事がどのように理解できるかを示す how の学問であり、why の学問ではない。

物理の研究をすることが職業として成立し、物理学者という集団が形成されたのは19世紀のことである。それ以前は自然哲学という名前のもとに現在の科学のみならず、哲学や神学までも包摂するような広範な知識領域に思いを巡らす少数の人たちがいた。ニュートンに代表されるこうした人たちにとって、キリスト教の意味での神の存在は自明の前提であり、神の意志の具現としての自然界の背後に、普遍的な法則が存在することに疑いを差し挟む余地はなかった。

ひるがえって現在、神の存在という重しを背負ってない（少なくとも日本では大多数を占める）物理学者は、自らの研究がやがて普遍法則の解明につながることを、何を持って確信しているのだろうか。数百年の歴史で経験的にそれが示されているというのでは、絶対的な普遍性の存在が経験によってのみ裏付けられるという自己矛盾に陥る。

ただ、こうしたことに特に頭を悩ませなくても、現実には物理理論は広範な成功を収め、実生活を物質的に豊かにすることに巨大な貢献をしている。諸君がこれから学んでいくのは、このような現実的な方法論である。具体的に言えば、古典力学のニュートン方程式、電磁気学のマックスウェル方程式、量子力学のシュレディンガー方程式などの基本になる方程式を状況に応じてどうやって解き、自然現象を説明していくかを基礎教育（1年生）から専門教育（2年生以後）にかけて徹底して仕込まれるのである。

それはそれで重要なことであり、十分な努力を払って取り組むに値するが、その際にも、今自分が行っていることの根本的な意味を常に考え続けてほしいと思う。普遍法則の存在でなくても、人生の意味や他の問題でもよい。それらの多くは、確固たる答えは出ない問いであり、現実世界ですぐ役に立つものでもない。しかし、ほとんどの人間にとって学生時代は、答えの出ない深遠な問題に本気で取り組める唯一の時間であり、また生物学的にもその気力が一番多く与えられている年齢なのである。この時期にどれだけ深い悩みを悩んだかが、その後の人生の深さにそのまま反映してくるといっても過言ではない。

大学の教育には、愛想がない。物理学系の教員は良い講義を心がけているが、それは、予備校などの経験の延長上で諸君が期待するわかりやすさとは同じ方向を向いてないことも多い。教員の仕事は学生の勉強の動機付けであり、勉強自体は学生が自分の責任において行うものである。先生に手取り足取り教わるものでもなければ、友達とわいわい楽しく教えあうものでもない。基本的に、学問は孤独なものである。

本学の物理学系には、世界的に見ても最高水準の研究をしている教授・准教授陣が揃っている。そこから何を引き出すかは、諸君の力量次第である。

## 4 1 類 1 年次物理学関係科目の履修について

田中 秀数

1年次の物理学関係科目には、講義及び実験と演習がある。講義には第1, 第2クォーター(1, 2Q)に力学基礎1, 2と3, 4Qに電磁気学基礎1, 2があり、いずれも必修である。力学と電磁気学は、自然科学の基礎であると共に、2年次以降の物理の専門科目を履修するための基礎になる。高校までの物理学では微分や積分を用いることはなかった。しかし、運動方程式を初めとして物理学の基本法則は微分型で表されることが多く、微分・積分、ベクトル解析は物理学を理解するうえで必要不可欠な道具である。これらの講義を通して必要な数学の基礎知識も同時に習得する。また、講義だけでは十分な内容の理解が得にくいので、物理学演習第一と第二が用意されている。実際に問題を解き、それを他の人に納得できるように説明する過程を通して物理学の実力を養う。講義は70名程度の学生に対して行われるが、演習はその性格上その半数程度の人数で行われる。

物理学実験第一と第二では実験の基礎を学ぶ。高校までの勉強は授業を聴き、問題を解くという座学が中心で実験は殆ど行われていない。そのためかグラフの書き方、ノギスの使い方、バーニアの読み方など基本的なことを知らない諸君もかなりいる。基礎物理学実験では原則2名を一組として、幾つかの実験課題を実際に行いながら、種々の測定装置や器具の使い方、グラフの書き方、誤差の求め方、レポートの書き方など、実験に必要な基礎知識と技能を習得する。またコンピュータを利用した計測やデータ解析など、現代の実験の一端に触れることもできる。実験は講義や演習に比べて拘束時間が長いにもかかわらず、単位数が少ない。また必修でもない。しかし新しい自然現象は実験によって発見されることが殆どであり、実験なくして自然科学の進歩はない。また卒業後技術者研究者として身を立てていく場合に実験の素養は重要である。物理学系を希望する学生は物理学実験第一と第二を必ず履修してほしい。将来はコンピュータや数学或は理論物理学などに進むので、実験は必要ないと思っている諸君もいるかもしれないが、そのような場合こそ、物理実験に触れる最後かもしれないので、是非履修してほしい。

## 5 「大学物理」カリキュラム

平成27年度 旧物理学科長 古賀 昌久

皆さん、東京工業大学入学おめでとうございます。ここでは、物理学系に系所属を希望する皆さんに系のカリキュラムの概要を紹介したいと思います。

### カリキュラムの選択について

大学のカリキュラムは、決められた範囲で自由に選択できるのが特徴です。特に1年次においては、教養科目群、専門科目群といったいくつかの区分に対して必要な単位数を取得することだけが要求されています。100番台で修得しておかなければならない物理学系に関連した必修科目は、「力学基礎1,2」、「電磁気学基礎1,2」です。また、必修ではありませんが、「物理学演習第一,第二」、「物理学実験第一,第二」も、物理学の理解を深めるために重要な科目となります。次に説明するように、これらの科目は専門課程に入った際に、物理学系の必修科目を理解するための基礎となります。そしてそれらの科目が学士特定課題研究にダイレクトにつながっていくことを強く認識しておく必要があります。

### 物理学系のカリキュラム

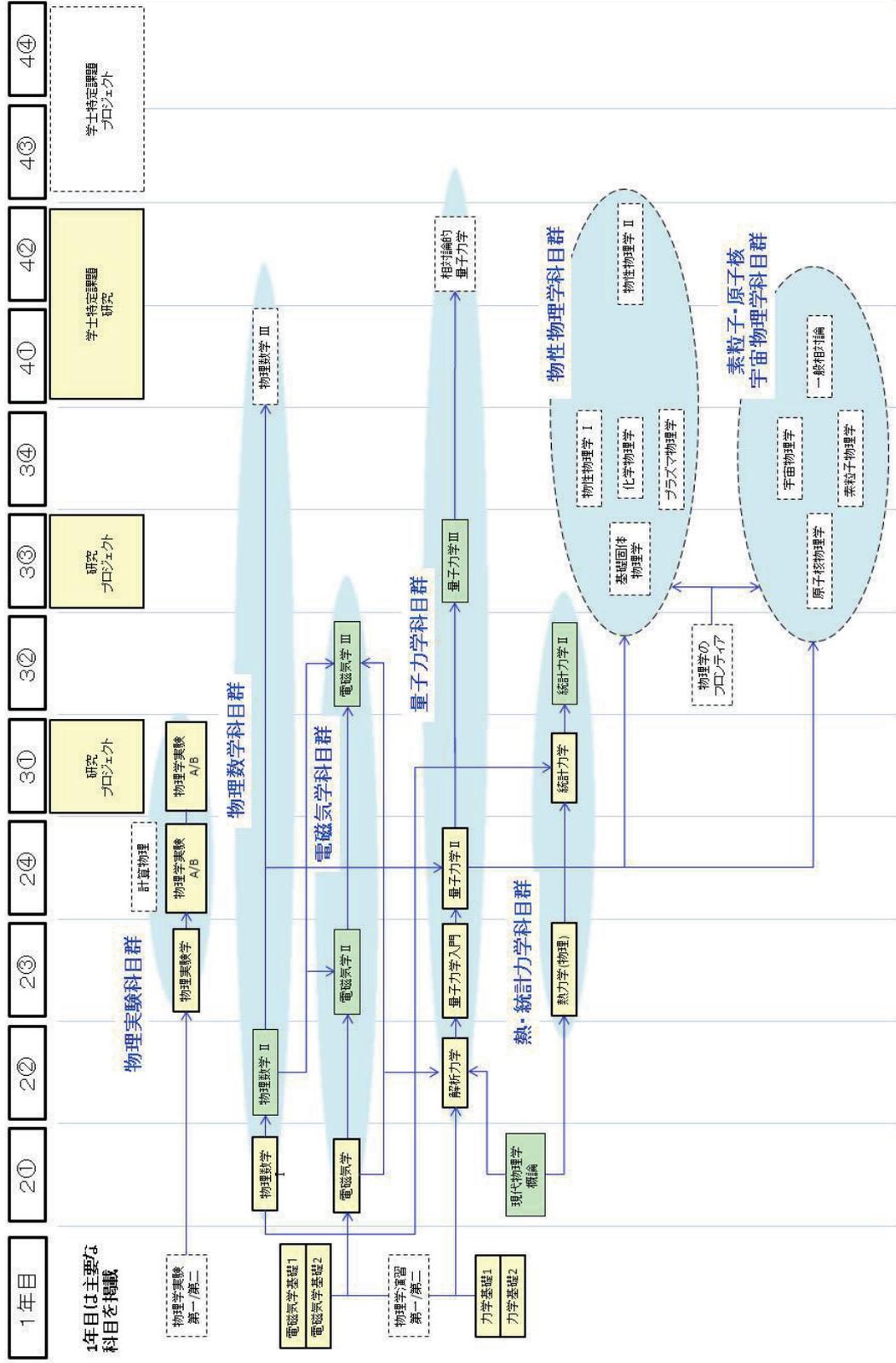
次ページの図に示す様に、物理学系のカリキュラムは、一年次の「力学基礎1,2」、「電磁気学基礎1,2」、「物理学演習第一,第二」、「物理学実験第一,第二」を基礎として、学年が上がるに従って積み重なるように構成されています。矢印は勉強する順序を表しており、矢印の元の科目を十分習得していることが先の科目を理解するために必要です。この中で特に、「解析力学」「電磁気学」「量子力学」「熱力学」「統計力学」は現代物理学の基礎となるもので、物理学系の必修科目です。さらに、物理は数学を言語として自然を記述するため、「物理数学」も必修となっています。各科目においては、講義と演習が一体化しており、この演習を通して講義で「解ったつもり」になった事柄を実際の問題を解くことで本当に理解していきます。

### 物理学における実験の意味

1年次の話に戻りますが、高校においては授業の合間で行われることが多い実験が、大学ではひとつの科目として扱われていることに気が付いたことと思います。1年次においては、実験は必修ではありませんが、物理学系における「物理学実験A/B」は必修です。何故ここまで実験を重要視するのか？物理を習得し、最先端の研究をしたいと考えている皆さんに、ここで大変重要なことを一つ書いておきたいと思います。「理論物理の研究者になるのだから、実験をしている暇があったら、もっと机の上で勉強をした方が効率的

# 【物理学系(学士課程)】

必修  
選択必修A  
選択



である」と考えている人がいたとしたら、それは大きな間違いです。一流と呼ばれる物理学者を観察してみると、理論研究、実験研究に関係なく、実験をこよなく愛していることがすぐにわかります。「私が新しい発想に恵まれたのは、実験結果を注意深く観察してきたからである」、そういう言葉をよく耳にします。物理学がこれほどまでに急速に、緻密に、そして豊かに発展することが出来たのは、自分の頭の中だけで結論を出すのではなく、自然と対話すること、つまり実験を重要視してきたからです。「思い込み、解ったつもり」といったものは、実は演習でもなかなか拭い去れません。しかし実験には、そうした思い込みを完全に打破する力があります。自身の思い込みだけでなく、教科書が微妙に真実とずれているならば、それすらも自然が明らかにしてくれるという点が重要です。教科書を一生懸命勉強し、そして実験に真剣に取り組む。両者の間の微妙な食い違いは、瑣末なことであることも多々ありますが、時に本質的・決定的な意味をもつことがあります。そこを深く追求することで、新しい発見、理論が生まれてきます。

## 先生を活用しよう

最後となりますが、授業やカリキュラムについて判らないことがあるときは、クラス担任などの先生に是非相談にいつてください。授業内容についての疑問点は担当の先生にどんどん質問してください。また授業以外の時間にも、先生を大いに活用してください。将来、4年生や大学院生になると、特定の研究室へ所属して先生方や先輩から直接研究指導を受けることとなります。どの研究室でどんな研究が行われているかを知ることが、研究室を選ぶ上で最も必要な情報です。日頃から先生や先輩の話聞いて、自分の興味に添ったテーマがどこで研究されているかを知っておくことが大切です。皆さんが東工大の物理学系で最先端の物理を学び、その面白さを感じ取ってくれること、さらには新しい研究の世界を切り開いてくれることを期待しています。

## 6 物理の学生実験で何を学ぶか

吉野 淳二

物理学系では、2年第4クォーターから3年第1クォーターにかけて、「物理学実験A/B」として週2日午後全部を使って学生実験を行います。また、4年生になると「学士特定課題研究」、「学士特定課題プロジェクト」において物理学の各分野で現在行われている最前線の研究に触れていくこととなりますが、その前段階として3年生時には「研究プロジェクト」において先の「物理学実験A/B」の内容から一步踏み込んだ実験テーマで学生実験を行います。このように、学生実験は物理の専門科目の中で大変重要な位置を占めています。

ではこの学生実験は、どのような目的で行われ、どのようなことを学ぶのでしょうか。学生実験に取り組み始めた学生がまず直面するのは、次のような事実です：

1) 実験結果は、測定するたびに変わる。

物理学は自然を対象にしているので、対象にするものが時刻とともに変化することがしばしばあり、それにつれて測定結果も変わります。実験では、対象となるものをうまく制御し、複雑な要因に依存しないようにします。それでも、見落とした要因がある場合が多いので、それを見付けることが大切です。そして、例えば温度だけ、あるいは、元素の種類だけが違い、他の条件は全く同じような環境をだんだんつくって単純化して、実験がなりたつようになります。

それに加えて、完璧な実験を行っても、測定結果には統計的な変動があります。十分な精度で、十分な回数測定をして、序々に真の値に近づきます。

このように、実験の結果が初めから一定にならないことに当惑する人がいますが、実験をすすめていくうちに馴れてきて、物理学と実験の関係を理解できるようになります。正しい測定を行っても誤差が出る、というのは、一つのカルチャーショックのようなもので、それを理解することによって得るものは大きいと思います。物理における「正しい」とはどういうことかを、深く考えてみることも大切です。

最近では、小中学校・高校の理科や物理で観察・実験を行う時間は、あまり多くなかったのではないのでしょうか。それに、我々の身のまわりにある電化製品などはたいへん高度なものになっており、その中身を見てどのような物理に基づいて機能を実現しているのか簡単に理解することができない場合が多くなっています。物理学系では幸い、実験を行う時間を多くとってあるので、学生は自らこういう状況を意識して、大学で、いままでの不足を補い、自然を相手にする物理学の本質を学んでほしいと思います。そういう問題に直面する機会を学生に提供するのが、学生実験の目的の一つです。

学生が続いて直面するのは、

2) 実験結果は、理論的な予測と異なることがある

という事実です。物理学は法則と定理だけでできている、という先入観を持っている学生は、こうしたことに驚き、自分がこれまで学んできたのは何だったんだろう、と自問します。クーロンの法則の、距離に逆2乗する性質は、正確に逆2乗なのか、それとも近似的

にそうなのか、現在までの実験精度で知られている経験則にすぎないのか... 等々。そして、実験が理論的な理解を促進し、また、理論が実験を推進する、という物理の進み方がだんだんわかるようになります。なかには、実験結果が理論の予想と異なることがある、という事実そのものを認めることができずに、観念上の自分の物理学の中に閉じこもってしまう人もいます。しかし、問題を先おくりしただけで、物理をやる以上、早晚この現実  
に直面せざるをえません。

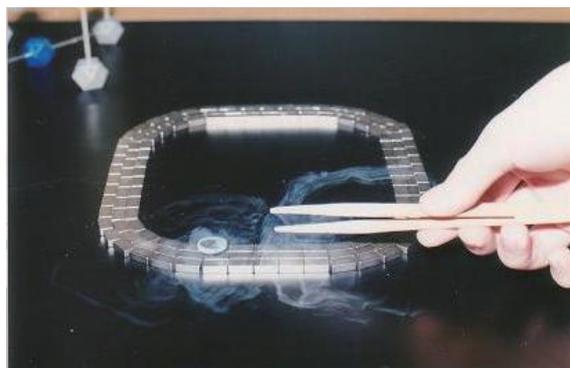
なにはともあれ、学生実験は、自然・実験・物理をめぐるさまざまな関係を深く考える機会を提供します。十分に楽しんでください。

最後に、2年第4クォーターから3年第1クォーターで行う実験のテーマを挙げておきます：光、真空・原子・分子、エレクトロニクス、放射線計測。

また「研究プロジェクト」で扱う内容は、時々刻々と進歩する物理の研究動向を反映して変化すると思いますが、実験テーマとしては、例えば次のようなものが挙げられます：アルファ線、メスバウア効果、コンプトン散乱と電子陽電子対消滅、プラスチックシンチレーターと高速パルス処理、イオントラップ、核磁気共鳴、結晶によるX線回折、ホール効果・量子ホール効果、色素レーザー、赤外スペクトル、強誘電体・コンピューター実験、高温超伝導、超流動・超音波、 $\beta$ 線スペクトロメータ、プラズマ、時間分解発光。



高温超伝導体をつくる



高温超伝導体の磁石による浮上

## 7 Physics in English

Todd Tilma

Welcome to Physics in English at Tokyo Institute of Technology!

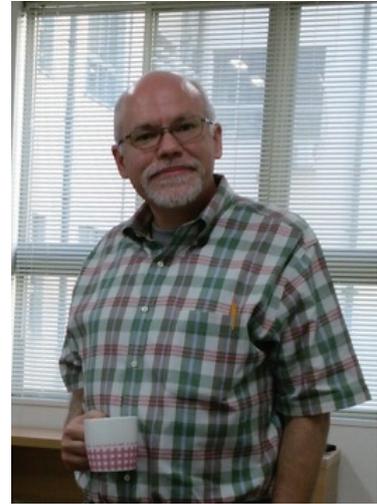
My name is Dr. Todd Tilma. I'm a mathematical physicist specializing in phase space quantum information theory. In other words, I'm a quantum mechanic. If you have a problem with your qubits decohering; or you want to visualize the internal dynamics of your quantum simulation; I'm the physicist you call.

I'm also the physicist you call when you want to do physics in English at Tokyo Tech. If you feel you're comfortable with English, and you want to learn physics, then why don't you challenge yourself and take one of my physics classes this year.

Now, if you don't feel you're ready to take on such a challenge, I understand. But, let me explain to you why you should still see English as being extremely important to your life in physics. At this time, English is the "lingua franca" of physics. Every day, every person in this department uses English. All the professors; the researchers; the graduate students; your seniors; even the staff understand the importance of English in physics. They have worked very hard to be able to effectively communicate in English and it has paid off, time and time again, for each and every one of them. You wouldn't be wanting to join this department if it wasn't for their hard work in communicating their ideas in English.

So, if you want to be a 21st-century physicist, you're going to need to be able to communicate in English. I'm not asking you to become fluent; I am asking you to be able to do physics in the language that reaches the largest number of people. The sooner you start, the easier it will be. Therefore, why wait, start now by taking first-year physics with me.

Look at your seniors; look at the graduate students; look at the professors; now look at yourself. You can be just like them. You've made it this far already so why stop challenging yourself now. The best is yet to come! Trust me. You can do it!



## 8 卒業後の進路について

旭 耕一郎

物理学系では、学部4年から就職する人は少数で、ほとんどの人は皆大学院に進学するのが最近の傾向でした。したがって就職活動をするのはたいていの場合、大学院生になってからです。

就職活動に際して、学生が一番とまどうのは、大学での成績と企業による人物評価が一致しない、というよりも、評価の基準が違う、ということです。企業のからの要求には、積極性・表現力・説得力・技術革新への意欲、さらに言えば文科系の素養などが含まれるので、大学の試験やレポートで得た成績とは異なるのはむしろ当然でしょう。紙の上で書いた答案で評価されるのは、大学までで、それ以降は、面接の質疑応答によって評価が決まる、というのも重要な点です。

就職のためばかりではなく一般に、大学生のうちに、学年がすすむにつれて勉強のスタイルを適切に変えていくことが大切だと思います。私が物理学系のクラス担任をしていたときにも、高校・大学1年・大学2年以降と順次成績が下がってしまった、とある学生から相談を受けたことがあります。よく聞いてみると高校の頃とほとんど変わらないやり方でまじめに勉強している人でした。つまり、自分ひとりで本を相手にして、ほとんど孤立して勉強をしている人でした。

大学生になって早いうちに、人と議論をして勉強をすすめる、というスタイルを身につけるとよいと思います。自分で理解しているだけでは不十分で、他人に説明して納得させることができなければなりません。そういう意味では、物理などは、同じ学科の人ばかりでなく、文科系の人を相手に説明するとよいと思います。東工大の中では、なるべく物理とは離れた学科の人に相手になってもらうとよいでしょう。

本を1冊読んだら他人に、自分はその本の内容をどう理解したか、その本をどう評価するか、などを伝える習慣をもつことが大切だと思います。自分一人で読むだけだと、批判的に読むことが難しいからです。さらには、次第に本から学ぶより、他人と議論したことから学ぶことの方が多くなります。実際、教科書などに書いてあることは、十年以上も前に解決したことが主なので、それだけでは足りなくなってきました。

皆さんが就職をするまでにはまだ何年もあるので、現在の動向を追うよりも、上に述べたような基本的な問題について考え、自分なりの勉強の仕方を身につけることを勧めたいと思います。

## 9 将来の進路を考えるにあたって

中村 隆司

物理学系では、ほぼ全員が大学院の修士課程に進学します。また、修士課程修了の学生のうち4分の1程度がさらに博士課程へと進学します。修士・博士課程修了後の進路は、一般企業への就職のほか、国の研究機関、高校の教師、大学の教員など、多岐に渡っています。最近の修士課程、博士課程以降の進路の状況については物理学系・コースのホームページの中の [http://educ.titech.ac.jp/phys/education/phys\\_graduate/](http://educ.titech.ac.jp/phys/education/phys_graduate/) にまとめていますのでご覧下さい。

ここでは自分の将来の進路を考えるにあたって、一般企業に就職するにせよ、研究のプロに成るにせよ、大学時代にどのような生活を送ったらよいのか、勉強や研究に対してどのように取り組んだら良いのかなどの、心構えについて述べたいと思います。

第一には、なんといっても物理をまじめに勉強することです。大学時代に勉強したことは、脳がもっとも柔らかいときに得た知識ですので一生の財産となります。物理学は自然科学の根本でありきわめて論理的な学問です。物理の勉強を通じて、論理的緻密さ、思考法、現象の根本原理（どうしてそうなるのか）を突き詰めようとするスピリットを体得できます。こうした人材は、研究・教育分野だけでなく、企業ですと製造業、さらには金融業に至る広い分野で求められています。

第二には、自分の“研究”テーマをとことん深く探求し、自分の土台・根とすることです。物理学系では4年生に卒業研究をしますが、これが最初の自分の“研究”でしょう。さらに進学すれば、修士・博士論文研究と、より本格的で世界的にも先端の研究に進んでいきます。こうした研究は、高校までの受験勉強や大学3年次までの講義によって教科書にそって“与えられる”学問とは違い、自分で切り開いて行く能動的なものです。教科書にも載っていない未知の世界を追い求めていくこととなります。（これは本当に心躍る楽しいことです！）こうした研究を通じて、真の論理的思考能力も得られるでしょう。

第三に重要なことは、進路・将来を考えるにあたって、情報の本質を見抜く能力を高めておくことです。現代社会では多くの（誤）情報が巷にあふれています。それに惑わされないことです。そのためにもひとつの“研究”に専念することが重要になるのです。自分の研究が実を結び自分の土台・根となると、自信が生まれ、情報に惑わされない強い人間になれます。自立したこういう人材こそが世の中でも求められています。

一方、自分に自信のない人は、ネット上での噂や、いい加減な知人の話、マスコミや一部の企業による煽動的な情報に右往左往します。また、そういう人に限って勉強や研究をおろそかにし、その貴重な時間をハウツー本やネット上の情報集めのために浪費します。そういう情報をもとに、応募書類や面接などで自分をなんとか取り繕おうとしたりしますが、うまくいきません。人事のプロは簡単に見破ってしまいます。

物理学を志す皆さん、物理学の勉強・研究を通じて、自然の根本原理を論理的・緻密に解きほぐしていく楽しみを存分に味わって下さい。これを体得すると、皆さんの明るい将来がおのずと開かれることでしょう。

## 第II部

# 教員・研究室の紹介

<http://educ.titech.ac.jp/phys/faculty/> または

[http://educ.titech.ac.jp/phys/faculty/research\\_lab/](http://educ.titech.ac.jp/phys/faculty/research_lab/)

## 10 物性物理学・理論



河村 徹



古賀 昌久



斎藤 晋



笹本 智弘



西田 祐介



西森 秀稔



村上 修一

### 河村研究室 「原子過程解析による高エネルギー密度プラズマ物理の解明」

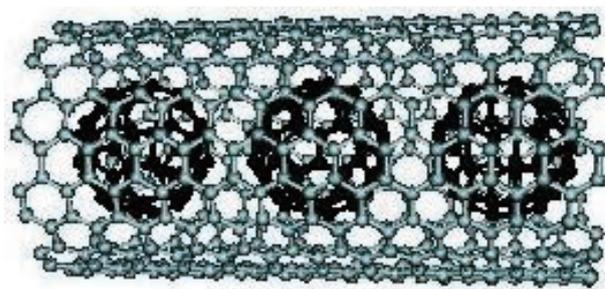
高温高密度プラズマ中の原子過程（励起・脱励起，イオン化・再結合など）に着目したプラズマからの放射特性の解明，さらにその知見を用いたプラズマダイナミクスの解明をテーマとして研究に取り組んでいます。具体的には，高強度超短パルスレーザーの物質照射時に生成される高速電子のプラズマ中での輸送（高速点火核融合・高エネルギー電子源）や，高強度イオンビームによる固体標的加熱の物理（Warm Dense Matter 物理）の解明のために，プラズマ中の内殻励起イオンから放射される軟X線に着目した数値シミュレーションを行っております。さらにプラズマ光源開発を念頭においた研究として，極端紫外（Extreme Ultraviolet: EUV）光と呼ばれる近年の半導体リソグラフィ光源開発で着目される 13.5 nm 光と同じ帯域に属する光について，高温プラズマを急冷して再結合プラズマを実現することで反転分布を形成し，EUV 光を発振する可能性のある元素に着目して，非平衡原子過程解析による EUV レーザーの発振ポテンシャルを明らかにすることを旨とした数値シミュレーションを実施しています。

## 古賀研究室 「強い相関を持つ系の理論」

遷移金属酸化物や希土類化合物においては、電子が原子核近傍に局在することにより、強く相互作用した強相関電子系が実現しています。この系においては、強相関効果に起因して、高温超伝導、量子相転移などの多彩な低温物性が現れます。また、原子ガス (Rb, Na, Yb, K など) をトラップした冷却原子系、さらにそれらを周期ポテンシャル中に閉じ込めた光格子系も最近注目されている強相関系です。当研究室においては、これらの強相関系にみられる興味深い物性をミクロな観点から解明すべく、量子力学や統計物理の方法を用いて、「強い相関を持つ系の理論」を展開しています。

## 斎藤研究室 「量子力学に基づく物質の性質の理解・解明と予言」

ミクロな世界の基本法則と認められている量子力学は、日頃我々が目にする様々な物質のマクロな性質をも支配している。量子力学誕生から半世紀以上経過した現在でも、現実の物質系における基本方程式を物理的意味が明確になるように解くことは、多くの困難を伴う。当研究室では、これら定量的量子力学計算に基づいて物質の性質の解明と予言とを試みている。



研究対象の一つ、  
フラーレン・ナノチューブ複合系

## 笹本研究室 「非平衡系に対する統計力学」

温度が一樣な物体は、熱平衡状態にあるといわれ、そのような系に対してはエントロピー最大という基本原理が知られています。一方、物質やエネルギーの流れを持つ系は非平衡系と呼ばれます。私たち人間自身も、外部と物質やエネルギーのやりとりを行っており、非平衡系といえます。非平衡系は、対流、乱流、化学反応パターンを始め、平衡系には見られない多彩な現象を示す一方で、基本原理は見いだされていません。これは物理学における重要な未解決問題の一つです。当研究室では、輸送現象や界面成長といった比較的単純な非平衡のモデル系を調べる事により、非平衡系の性質をミクロな観点から理解する事を目指した研究を行っています。

## 西田研究室 「冷却原子と量子物理学」

本研究室では冷却原子を主な対象とする理論物理の研究を行っています。冷却原子とは、レーザーを用いて閉じ込められた百万個程度の原子を、レーザー冷却によってナノケ

ルビンにまで冷却することで、そのような極低温で現れる量子物理の謎に迫ろうとする分野です。

この冷却原子の物理は、1995年のボーズ・アインシュタイン凝縮の実現から始まった比較的若い分野ですが、その後のめまぐるしい技術の進歩により、冷却原子を用いることで系を自由自在にデザインしコントロールできるようになりました。この他分野にはない利点を生かして、冷却原子だけでなく物性物理や素粒子・原子核物理など、分野の垣根を越えて現れる「普遍的」な物理現象への理解を構築し、さらには新しい量子現象を発見することを目指して日々研究に励んでいます。また、冷却原子は現在も世界的に盛んに研究がなされており、今後、基礎科学・応用科学の両面においてますます重要になっていくものと期待しています。

## 西森研究室 「統計力学による多様な世界の認識」

基本的な要素がたくさん集まったときに全体としてどういう現象が起きてくるかを理論的に研究しています。統計力学と呼ばれる分野です。例えば、水と氷と水蒸気はどれも同じ分子から出来ていますが、見た目は全然違ってきます。あるいはヒトの脳は同じ神経細胞がたくさん集まって出来ていますが、一人一人は違った個性を持っています。このようなことが起きるメカニズムの解明を目標にしています。

## 村上研究室

量子力学的な効果、例えば電子の波動性がマクロに現れる物性現象全般について、理論的な立場から研究しています。特に電子のスピンは純粹に量子力学的なものであり、古典的な自転とは違う奇異な法則に従っています。最近こうしたスピンの流れ（スピン流）の物理から思いもかけない現象が次々と発見されてきていて、またスピントロニクス（電子スピンを用いたエレクトロニクス）への応用の観点から研究が盛んにされています。こうした分野に基礎理論の立場から取り組んでいます。近年スピンを観測する実験手法が発達してきており、実験研究者とも議論しながら研究を進めています。また他にもベリー位相に由来する現象、例えばスピンホール効果、光のホール効果等幅広く研究を行っています。

## 11 物性物理学・実験



相川 清隆



井澤 公一



江間 健司



大熊 哲



金森 英人



上妻 幹旺



竹内 一将



田中 秀数



平原 徹



平山 博之



藤澤 利正



松下 道雄



宗片 比呂夫



吉野 淳二

### 相川研究室

当研究室では、真空中に浮かべたナノサイズの固体試料（ナノ粒子）の内部における物性を実験的に探究していきます。特に、試料の温度を希釈冷凍機でも到達できない超低温領域まで冷却し、新たな現象を見出すこと、またこれを理解することを目標としています。

これまでの多くの物性実験は、サイズの大きなバルクの試料を、希釈冷凍機の下限温度である絶対零度 10mK 程度より高い温度において観測する形で行われてきました。これに対し、当研究室では、原子・分子物理学および量子光学で培われてきた技術に基づき、ナノサイズの試料を真空中に浮かべて熱的・物理的接触を断った上で、その内部の物性を探る、という新しい試みに取り組みます。このようなアプローチにより、従来の手法では

探究の難しいナノ粒子の物性を、10mK 以下という超低温領域で探っていくことが可能となると期待されます。

実験の具体的な内容は、ナノ粒子をレーザー光中に捕捉し、その特性を別のレーザーによって分光的に測定していく形になります。新しいタイプの実験手法であるため、捕捉されたナノ粒子の運動を抑える方法から、その内部の温度を測定する方法、さらに内部の温度を冷却する方法など、全ての過程を一から開発していきます。

## 井澤研究室

本研究室では、超伝導、特に異方的超伝導（非従来型超伝導）の研究を行っています。超伝導は 1911 年にカマリングオネスによって発見され、水銀、錫、鉛など多くの単純な金属でも見ることができるポピュラーな現象です。当初、この超伝導は格子振動を媒介として 2 つの電子がクーパー対と呼ばれる対を作ることにより生じているという考えをもとにした BCS 理論でほぼ理解されたと考えられていました。しかしながらその後、重い電子系化合物、有機導体、銅酸化物、Ru 酸化物など電子相関が強い（強相関係）と考えられている物質群で従来の BCS 理論では説明困難な新奇超伝導が次々と発見され、現在多くの研究者から注目され積極的に研究されています。このような超伝導は異方的超伝導（非従来型超伝導）と呼ばれ、有名な酸化物高温超伝導体もこのカテゴリーに属します。そうするとどうしても高温超伝導体に目を向けてしまいがちですが、上記に挙げた他の強相関係の物質を見ると実は高温超伝導体よりもより多彩でよりエキゾチックな興味深い超伝導を示す物質がある事に気づきます。例えば、クーパー対が従来の超伝導体や高温超伝導体で見られるスピン一重項ではなくスピン三重項であるもの、時間反転対称性が破れたもの、さらには温度、磁場、圧力などを変化させることにより、ある超伝導状態から別の対称性をもった超伝導に相転移するものなど非常に興味深いものがあります。本研究室ではそのような風変わりな超伝導物質をターゲットにしその超伝導状態及びその舞台となる常伝導状態を研究しています。

## 江間研究室 「液晶、リン脂質膜の相転移」

相転移について：固相、液相、気相の間の状態変化は相転移の一例です。相転移にはさらに非常にさまざまな種類があり、どうして相転移が起きるかを理解することは物理学の基本テーマをなしています。

液晶について：電卓やノートパソコンなどに広く用いられていますが、きわめて多種多様な相転移を行ない、物理的に興味深い研究対象です。

リン脂質膜について：リン脂質からなる膜構造は生体の中に多く見られます。ただし当研究室では生物を直接研究するのではなく、リン脂質膜だけを実験室で作成して測定に用います。

何を測定するか？：おもに熱容量を測定しています。熱容量とは物体の温度を 1 度上昇させるのに必要な熱量ですが、研究のためには非常に精密な測定が必要です。数十ミリグ

ラムの試料を用い、温度変化は百万分の1度ぐらいまでの細かさで読み取ります。測定に用いる装置はその精密さにおいて世界で最高級のものです。

## 大熊研究室

極低温では、超伝導や超流動といった、常温では目にすることのできない不思議な現象が起こることは、どこかで聞かれたことがあるでしょう。これらの現象は、極めて多数の電子や原子が、よくそろった一種の波としての性質を持つことに由来しており、量子力学という物理学の基本的な理論によってきれいに説明することができます。すなわち、極低温では、量子力学が予想するさまざまな不思議な現象が、目に見える形で私たちの前に姿を現わすのです。

それでは、超微粒子のような極めて少数の原子（電子）からなるサイズの小さな系や、原子レベルの厚さしかなく電子の運動方向が制限された系では、極低温で電子はどのように振る舞うでしょうか。また超伝導体に垂直に磁場を印加すると量子化された磁束（電子対の渦）が現れますが、これらは相互作用する多粒子系とみなすことができ、原子固体のように格子を作ったり融解したりするほか、運動に伴い状態を変える新しい動的相転移現象が見られることがわかってきました。これらは、最近研究がはじまったばかりの興味あるテーマです。われわれは、このようなユニークな系を準備し、これらを極低温や強磁場といった極端な環境に置いたときに示す電子や磁束の不思議な挙動を、低温独特の超精密な測定手法によって調べています。この中には量子力学の根本原理に迫る大きなテーマや、21世紀の超伝導技術あるいはエレクトロニクスを支える基礎となる、重要な問題も多数含まれています。

## 金森研究室

分子とは複数の原子核と多数の電子からなる多体系であり、分子の世界を支配する法則は電磁気学のクーロン則と量子力学である。このルールの下で、例えば2個の陽子と1個の酸素原子核と10個の電子、計13個の粒子を集めてきて、多体の力学系として運動方程式をたてて最安定なエネルギー状態となる解を追求すると、HOHの順に104度曲った核配置とその周辺の電子配置が決定される。但し、この解を解析的に求めることは不可能であり、最新鋭のスーパーコンピュータで莫大な時間をかけても実験で求まる精度の数値解を得ることは難しい。しかしながら、自然は必然的にこの解をいともた易く見つけ出してしまふ。即ち、我々が普段目にする水分子は一個一個が瞬時にこれを実現しているのである。一方、同じ水分子の系であっても余剰エネルギーを与えられた条件の下では異なった解が得られ、まったく別の粒子配置が安定な構造となりうる。このような考え方を拡張すると、一連の化学反応も粒子群の組み替えを伴う、より自由度の高い多体問題と認識できる。我々の研究室ではコヒーレント光源（レーザーやマイクロ波のように周波数と位相のそろった電磁波）を用いて得られる精密な分光学的実験手段と量子力学に基づく理論的解析手法を用いて、多体力学系としての分子を対象として、以下の研究テーマに取り組んでいる。

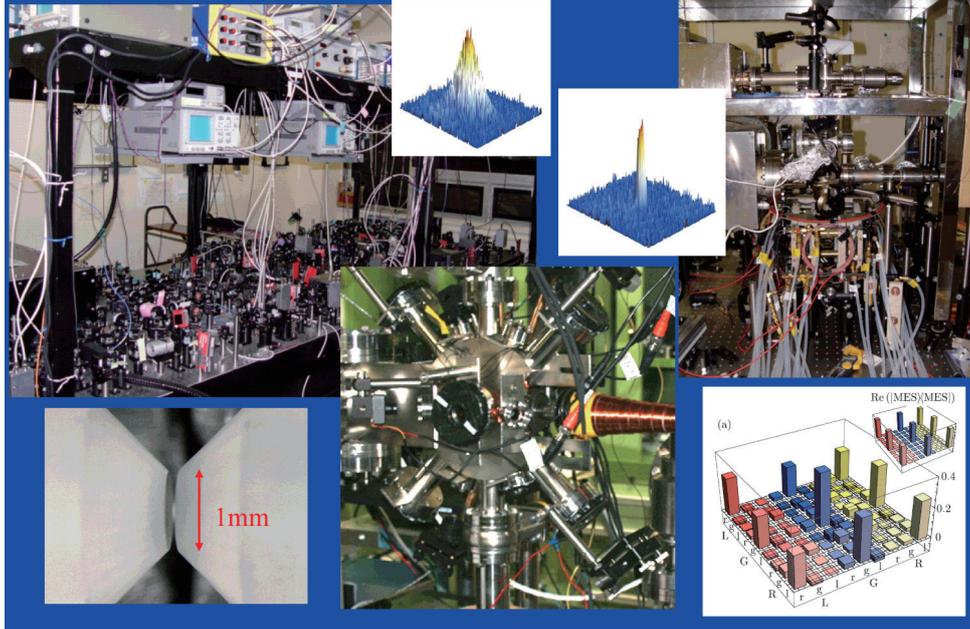
- 1) 「化学反応中間体分子の構造変化と反応ダイナミクスを関連付ける研究」
- 2) 「コヒーレント光と物質が相互作用して発生する巨視的コヒーレント量子状態とそれを利用した新しい測定手法の開発」
- 3) 「極低温分子を用いた超精密分光測定」

## 上妻研究室 「レーザー冷却の世界：極低温原子集団を利用した量子情報処理・物性研究」

原子は、特有の波長の光を吸収・放出する性質をもっています。光は光子1個あたり、 $h/\lambda$ に相当する運動量をもっていますので、原子は光を吸収する度に、光の進行方向に力を受けることになります。一体どの位の力を受けるのでしょうか？原子は大体1秒間に $10^8$ 回、光子を吸収・放出します。光子1個あたりの運動量と原子が光子を吸収・放出するレートとから加速度を計算すると…なんと、重力加速度の $10^5$ 倍にもなるのです！室温の中性原子は、およそ100m/sの速度で空中をとびかっていますが、この原子に、x、y、z、3方向から対抗するレーザーを照射することで、原子の温度を一瞬のうちに100 $\mu$ Kオーダーにまで落とすことができます。速度に換算すると、実に10cm/sのオーダーです！

今度は、原子の共鳴波長から十分離れた波長をもつレーザーをレンズで絞って、冷却された原子にあてるとしましょう。レーザーは電磁波ですので、レーザーが絞られた場所の電場は時間とともに激しく振動し、原子中の電子も、その電場によって揺さぶられることになります。話をわかりやすくするために、時間をちょっとだけ止めて、系の様子を眺めてみることにしましょう。電場によって電子と原子核の位置がずれるということは、電気双極子が発生することを意味します。そこに電場が加わっているわけですから…そう、 $-\vec{\mu} \cdot \vec{E}$ に相当するポテンシャルが発生します。すなわち、冷却された原子は、レーザーが作り出すポテンシャルによって捕獲することができるのです（レーザーピンセット）。このポテンシャルの中に沢山の冷却原子集団をいれることにしましょう。原子同士は衝突を起こし、ボルツマン分布を形成します。レーザーの強度を弱くするとエネルギーの高い原子が選択的に逸脱していきます。そのまま残った原子同士が衝突をおこし、再度ボルツマン分布を形成すれば、系の温度はどんどん下がることになります。コーヒーが冷める冷却機構である、蒸発冷却が起こるわけです。系の温度が転移温度以下になれば、ボース凝縮、フェルミ縮退がおこります。縮退状態にはいった原子集団に対して、x、y、z、3方向から波長の離れた別の対抗するレーザーを照射すると何が起こるでしょうか？対抗するレーザーは波長の半分の周期をもつ3次元の光定在波を作ります。卵パックのようなものです。そこに量子縮退した原子が一つ一つはいります。人工的に作られた不純物0の完全なる結晶の完成です！

## 研究室の雰囲気



私達は、レーザー冷却技術を基盤として、時には単一の原子、時には冷却された原子集団、さらに時には量子縮退した原子集団を利用して、大規模な量子計算を実現するための実験研究をすすめています。卵パックのなかに入った一つ一つの原子をビットととらえ、計算を実行するわけです。私達はすでに、単一の原子の量子状態を自由に制御し、さらに測定する技術を確認しています。また、計算を行う舞台となる 100nm 程度のシート状になった量子縮退ガス (2次元系) を生成することにも成功しています。レーザー冷却技術は、20世紀後半に実現されたまだまだ新しい物理ツールです。この分野の新しい研究を実現していくのは、若い学生の皆さんです。

### 竹内研究室 「非平衡の物理法則を求めて」

私たちが目にできる大きさの物質や現象のうち、熱平衡状態にあるもの、また平衡近傍にあるものに関しては、人類は深い理解に到達することができました (それでも数多くの謎が残されているわけですが)。特に、対象を選ばず適用できる熱力学と統計力学の枠組みは、平衡系には極めて強い普遍性があることを教えてくれます。一方で、ふと周りを見回すと、味噌汁でも目にする対流、雲や風紋のパターン形成、生体分子の協同現象から動物の群れまで、私たちは多くの非平衡現象に囲まれていることに気が付きます。そうした非平衡系に、普遍的な物理法則や概念はどのくらいあるのでしょうか？

様々なマクロ物理現象の中でも、強い普遍性が見られるのが、臨界現象に代表されるスケール不変な状況です。当研究室では特に、液晶に電圧をかけて乱流状態を実現し、そこで見られる相転移や界面成長過程を測定して、非平衡スケールリング則の研究を行っています。これまでの研究で、それが理論的に考えられていた非平衡普遍クラスの法則を明瞭に示すことがわかりました。この成果を足掛かりに、私たちは、他の様々な非平衡法則

を探究していきます。そして、その経験と知識を活かして、液晶以外のソフトマターや生命現象にも徐々に研究対象を広げていきたいと考えています。

非平衡は様々な自然現象と結びつく豊かなテーマである一方、基礎的な物理法則がまだ整備されていません。そのような未開の地を探検する、熱意ある皆さんとの研究を楽しみにしています。

## Takeuchi Lab



研究内容等の詳細は研究室ウェブページ <http://labjp.kaztake.org> をご覧ください。

### 田中研究室

我々の研究室では、磁気現象を研究しています。磁鉄鉱の性質のように、磁気現象は古くから知られていますが、現在でも新しい現象が次々と見つかっています。新しい磁気現象が潜んでいると思われる物質を開拓し、その磁氣的性質を様々な実験で調べています。つまり「はっけよい、作った、測った、作った、測った、・・・」というような調子で研究をしています。ですから、実験試料すなわち結晶作りに力を入れています。大きな結晶ができたときは、とても感動的です。結晶は、その中にある物理を映し出すかのように深い深い色をたたえています。いくら見ても見飽きません。そして、その中に新しい磁気現象を発見したときは、一段と感動的です。そのような体験を研究室の仲間と分かち合っています。いつでも見学に質問に立ち寄って下さい。

### 平原研究室 「表面物理、ナノサイエンス、スピン物性、ディラック電子」

本研究室では物質の表面や数ナノメートルしか厚さがない系の特異な性質を実験的に研究しております。Wolfgang Pauli は “God made solids, but surfaces were the work of the devil!” ということを書いており、これは物質の内部と表面では性質が全く異なるということを示しています。つまり表面やナノ物質はその低次元性ゆえに極めて興味深い物理を探索することが可能で、近年のナノテクノロジーの発展とともに大きく注目を集めている分野です。実験のプロブとしては電子や光を用いますが、原子一個一個を直接観察したり、結晶の回折パターンを見ることで、粒子性と波動性という粒子の持つ二面性を色々な場面で体感することができます。(事実表面研究は、量子力学の構築に大きな寄与を果たしてきました。)

ここ数年の大きなテーマとしては、スピン軌道相互作用という相対論効果と空間反転対称性の破れのために(内部の電子は通常の電子であるにも関わらず)表面電子が磁石に似た性質を持つ(スピン偏極する)ということがあります。さらに物質を数学のトポロジーと同じ概念を用いて分類したときのトポロジカル絶縁体の顕著な性質が、表面のディラック

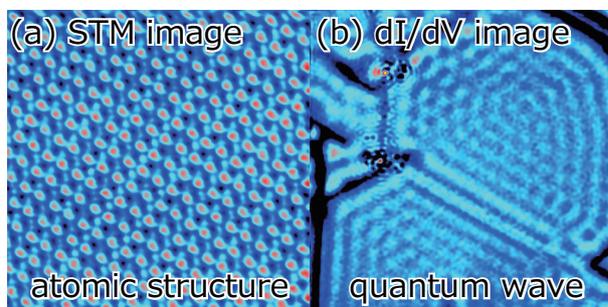
ク電子の出現ということで現れるなど多くの興味深い新奇な物理が議論されています。興味がある方は以下の本を読んだり、研究室見学に来て、表面・ナノ物理の最前線を体験してください。

研究室のホームページ：<http://www.surfnano.phys.titech.ac.jp/index.html>

推薦図書：長谷川修司 著「見えないものをみる－ナノワールドと量子力学」（東京大学出版会）

## 平山研究室 「Wave Function Engineering」

私達の研究室では、固体表面を舞台に、(1) 表面に現われる 2次元電子系、(2) 超薄膜内の電子の量子閉じ込めや界面の構造・電子状態、(3) わずか 1 原子層の厚さの究極の 2次元物質の作製方法の開発とその電子状態の研究を行っています。これらの系では、本来バルク（固体結晶の内部）が持つ空間反転対称性が破れています。また柔らかな紙にしわを寄せるようにしてその構造を歪めれば、電子は歪んだ 2次元空間に束縛された運動を行なうことになります。こうした対称性の破れや空間的歪みのある系では、非磁性な物質でも電子バンドがスピン分裂したり、外部から磁場など一切与えていないにも拘らず、巨大なゲージ場が発生するなど、様々な新しい物性が発現します。私達は走査トンネル顕微鏡 (STM) を用いて、表面の原子の並び方や、その上をさざ波のように漂う電子の波紋を直接観測し、これらの系の原子構造と電子状態を研究しています。興味のある方は、是非一度研究室に見学にいらして下さい。



(a) Ag 表面上に並んだ Bi 原子の STM 像 (b) Ag 表面上 2次元電子系の波動関数  $|\Psi(\mathbf{r})|^2$  の空間分布 (STM による  $dI/dV$  像)。

## 藤澤研究室

近年のナノテクノロジーの発展によって、ナノメートル程度の寸法で微細なナノ構造を作ることができるようになりました。例えば、半導体のナノ構造の 1 つに、電子がたった 1 個しか入ることのできない箱（量子ドット）があります。そこでは、電子の波としての性質が顕著に表れ、量子力学に従って電子が運動する様子を観測することができます。通常の導体では無数の電子が存在し複雑に相互作用していますが、ナノ構造を用いることにより、相互作用のない電子 1 個の状態や、最も単純な相互作用を示す電子 2 個の状態など、さまざまな電子状態を実現することができます。

研究室では、ナノ構造において電子がどのような振る舞いをするのかに注目して研究を行っています。特に、電子の状態が時間とともにどのように変化するのかに興味をもつ

ています。例えば、電磁波や音波を照射したら何が起こるのか、電気的な刺激（パルス）を与えると何が起こるのか、はたまた、何も与えないと何が起こるのか？電子のダイナミクスを研究することにより、電子の置かれている環境（半導体のナノ構造）の様子を正しく理解するとともに、電子の動きを量子力学に基づいて正確に制御することができるのです。このような研究は、量子力学を用いて情報処理をおこなう量子情報素子、ひいては量子コンピュータの基礎技術に発展すると期待しています。

研究室のホームページ：<http://fujisawa.phys.titech.ac.jp/index.html>

## 松下研究室 「一個の分子を観測する」

市場の雑踏のざわめきをマイクで捉えると、人々が音声を使って意思伝達していることは分かっても、使っている言葉や言語の仕組みまでは分からないでしょう。人々が使っている言葉を知るには、一人一人の話す声を聞くのが一番です。通常の物理測定では原子分子のアボガドロ数個のアンサンブルを測定しています。しかし、アンサンブルを構成する分子の振舞いがそれぞれ異なっているとき、分子を一個ずつ測定することで初めて分子がどういう状態にあるのかが分かります。本研究室は、固体の内部や細胞の中の分子の振舞いを一個一個の分子の観測から明らかにすることを目指しています。

## 宗片研究室 「磁性で創る新しいフォトニクス材料とデバイス—弱い光で磁化が変化する光磁石を発見と応用—」

宗片研究室の研究の一端を紹介します。（東工大研究ニュース2015年8月号より）

像情報工学研究所の宗片比呂夫教授らのスピントニクス研究グループは、コバルト (Co) とパラジウム (Pd) のごく薄い膜を交互に積層した磁性薄膜が光励起に対して極めて高い感受性を示す「光磁石」（光により磁性を変えられる材料）候補であることを発見した。パルス光強度  $1 \text{ J/cm}^2$ （1平方メートル当たり1マイクロジュール）以下の超短レーザーパルス光（用語1）を用いた光励起磁化才差運動（用語2）の実験によって見出した。さらに、同研究グループの西林一彦特任講師は、電通大の米田仁紀教授、放送技研の久我淳氏らとの共同研究により、類似の磁性薄膜と光ファイバーを一体化した光導波路を用いて、導波路を伝搬するモード光の選択的な偏光変調に成功し、光磁石材料と偏光変調を組み合わせた光信号多重伝送の可能性を切り拓いた。

デジタル情報技術は私達の生活スタイルに多大な影響を及ぼしつつあるが、そのことが、研究者にとっては、いつそう高速でエネルギー効率の高いデジタル信号の扱い方の研究に対する大きな動機となっている。実際、電気電子工学者は半導体チップ上で光デジタル信号を使うことを検討し始めており、固体物理学者はチップ上で電子の電荷（用語3）に代わって電子のスピン（用語4）を用いたデバイスを研究している。光は宇宙で最速であり、スピンの磁気シグナルを伝送する際に発生する熱量は、電荷輸送に伴って発生する熱量よりも格段に小さい。しかし、光とスピンを組み合わせる最強タッグチームを作ろう

とすると大きな問題がある。それは、光とスピンの間の相互作用は光と電荷との間の相互作用に比べて小さいという問題である。

宗片教授らの研究グループは、電荷とスピンの間の相互作用が大きな物質群に着目した。具体的には、スピン安定状態が異なる2種類の物質の接合界面、この場合はCoとPdの界面で発生する電荷のわずかな偏りに基づくスピンに着目した。超短時間に圧縮した弱い光パルスを試料に照射して、一気に光-電荷-スピン間の相互作用を変調することで、スピンの向き、実際にはスピンの方向にそろったスピン集団全体の向き（磁化、用語5）を変化させることができることを、磁化の才差運動（コマの首振り運動）を観測することで示した。ところで、通常の実験では、自由空間を伝搬する光ビームを用いて物質と光の間の相互作用を調べることが多い。しかし、光ファイバーなどの導波路内では、干渉の結果、光は強度分布が複雑な多くのモード光に分かれて伝搬する。したがって、スピンを含む領域をモード光が伝搬する場合、光-スピン間の相互作用が伝搬光全体としてはどのように変調されるか自明でない。西林特任講師らの実験結果は、スピンを含む空間位置とそれによって変調されるモード光の間に強い相関が存在することを明らかにしている。

弱い光パルスで磁化の周期的な運動を発生させることができると、その周囲を通過する光デジタル信号の偏光面や群速度を制御できる可能性が拓ける。光の多重伝送をはじめ、これまでの光回路では着想されなかったデバイス、例えばスピンと光だけで構成する光メモリや遅延再生、などの研究に発展する可能性を秘めている。具体的なデバイス試作はこれから始まると期待される。

#### 用語説明

(1) 超短レーザーパルス光：100 フェムト秒ないしそれ以下に圧縮されたパルス状の光波。今回の実験では基本波長 790nm（ナノメートル）を用いた。

(2) 才差運動：磁化が方向AからBに変化する際、めざす方向Bを軸としてその周りを周回する運動。

(3) 電荷：ここでは固体中で電流を流す役割を担う電子の電荷を指す。

(4) スピン：ここでは電子固有の磁気モーメントと電子軌道が発生する磁気モーメントの両者を指す。

(5) 磁化：スピンの集団的に一方向にそろった安定状態を指す。磁石の強さに相当する。

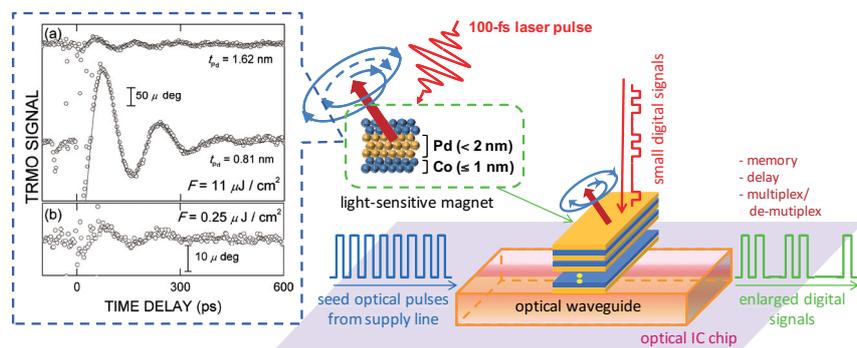
お問い合わせ先

像情報工学研究所 教授 宗片 比呂夫

TEL / FAX 045-924-5185

Email hiro@isl.titech.ac.jp

研究室ウェブサイト: <http://www.isl.titech.ac.jp/munelab/>

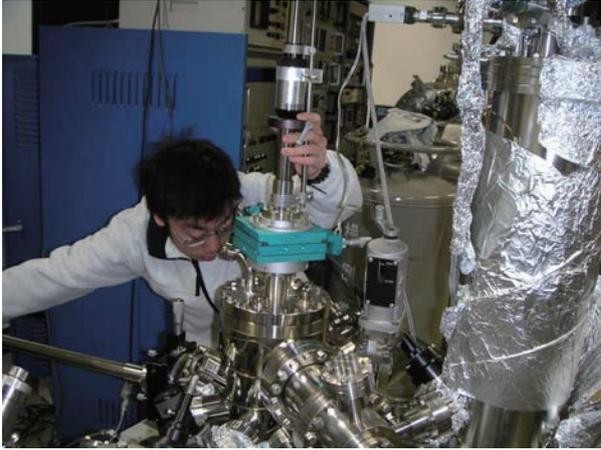


光磁石の発見を示唆する光励起磁化才差運の実験データ（左）と Co/Pd 極薄積層構造概略図（中上）、ならびに、その現象を活用した三端子光素子概略図（右下）

## 吉野研究室 「物質の新しい組合せとナノ構造から生まれる新物性」

皆さんは、スピントロニクスという言葉をご存知ですか？既存の半導体エレクトロニクスにスピン（磁性）の機能を付け加えた新しい学問領域であり、2007年のノーベル物理学賞に輝いた「巨大磁気抵抗効果」の発見に関連する新しい領域です。Feのような強磁性金属と磁性をもたないAu等を数nmの厚みで交互に積層した人工ナノ構造物質に磁場をかけると抵抗が大きく変化する現象は、電子がスピン角運動量をもつことに由来します。このような電子スピンを利用するエレクトロニクスは、現在のエレクトロニクスにおける集積化の問題を解決する可能性をもつ1つの選択肢として、大容量で小型な高性能次世代デバイスの誕生が期待されており、現在世界的に強力に研究が進められています。

我々の研究室では、磁性物理学と半導体工学を組み合わせた複合領域「スピントロニクス」に応用可能なスピンに依存する様々な新しい現象の発見・解明を目指して研究を進めています。具体的には、分子線エピタキシー法と呼ばれる結晶成長手法を用いて人為的に新規な物質やナノメートルサイズの既存物質を組み合わせた新しいナノ構造の作製にチャレンジしています。また、新しい物質をつくるためには、物質が形成される過程を原子の振る舞いにまで立ち戻って理解して、それを人為的に制御することが必須となりますので、走査型トンネル顕微鏡等の原子レベルでの表面分析手法を用いて物質の形成過程を調べることを、もう一つの重要な研究のターゲットとしています。



分子線エピタキシー装置と  
走査トンネル顕微鏡を真空で  
連結した装置を用いた実験

## 12 基礎物理学・理論



伊藤 克司



今村 洋介



岡 真



山口 昌英

### 伊藤・今村研究室 「素粒子理論、超弦理論」

素粒子理論は、自然界の基本法則を探求する学問です。つまり、自然界のすべての物質の構成要素とそれらの間に働く基本相互作用を理解し、記述しようとしています。現在までに得られた多くの実験事実の集積から、自然界には四つの基本的な力、すなわち相互作用があることが分かっています。強い力、電磁気力、弱い力、重力の四つです。一方、物質の基本構成要素としては、クォークとレプトンが知られています。これらの中でゲージ粒子と呼ばれる粒子がやり取りされることで、四つの力を媒介しています。現在のエネルギースケールまでの実験事実のほとんどは、標準模型と呼ばれる理論によってまとめられ、記述できるようになっています。標準模型というのは、電磁相互作用・弱い相互作用の統一理論と強い相互作用のゲージ理論（QCD）とを、ゲージ原理という観点からまとめ上げたものです。しかし、この標準模型には、クォーク・レプトンの質量や世代の問題など、まだ理解できていない問題が多くあります。特に重力を統一理論の枠の中に取り入れて理解することは大きな課題となっています。そのために標準模型を越える模型を構成することが大きな目標です。その際、超対称性という新しい対称性が大きな役割を果たすと我々は考えています。また、重力を含む統一理論のもっとも有力な候補は超弦理論です。この超弦理論も我々の研究室の大きな研究課題の一つです。

一般に、超対称統一理論など、標準模型を越える統一理論は様々な特徴的な予言を持っています。高エネルギー反応の実験データのような加速器で検証できる特徴だけでなく、低エネルギーでの精密実験や神岡鉱山で行われているような非加速器実験も重要性を増しています。また、宇宙物理での観測事実との対応も興味深い課題です。たとえば、宇宙の中に存在するバリオン数を説明するのは、素粒子理論の大きな課題です。

一方、近年、超対称ゲージ理論で摂動論ではとらえられない様々な量子効果が発見され、場の理論の進展として大きな話題となりました。特に、摂動論の使えない強結合領域の理論が、双対性という概念によって弱結合の理論と関係付けられることがわかりました。これらの発展は、いままで取り扱えなかった場の理論の様々な側面を解明するのに役立つと思われます。また、超対称ゲージ理論を用いて具体的な模型を構成するためにも有用です。さらに進んで、場の理論だけでなく、弦理論の場合にも、同様の非摂動効果があることが分かってきました。場の理論での非摂動効果と弦理論での非摂動効果との関係は大変興味深い課題です。一方の研究が他方の理解を助けるということがしばしば起こって

います。素粒子理論の研究室の最大の特徴は、自由な研究環境と言えるでしょう。たとえば、教員の興味とよく重なる研究課題を選ぶこともできるし、大変へだたった課題を選ぶこともできます。



勉強会の様子

## 岡研究室 「原子核・ハドロン物理・理論：QCD – クォーク・グルーオンによる物質の成り立ち」

二十世紀後半に急速に進展した素粒子の標準理論は、自然界を素粒子（レプトン、クォーク、ゲージボソンなど）によるミクロな構造と、それらに働く4種類の基本的な力によって統一的に表すことに成功しました。たとえば、原子は電子と原子核から作られ、原子核中には、陽子、中性子、さらに中間子と呼ばれる不安定な粒子も存在します。電子は電磁気力で原子核に束縛されていますが、原子核内部の素粒子は「強い相互作用」と呼ばれる電磁気力よりずっと強い力で結ばれています。また、原子核はベータ崩壊などの過程で他の原子核に壊れることがあります。これは「弱い相互作用」と呼ばれる力の働きです。

原子核の構成要素である陽子や中性子、中間子などは、総称でハドロンと呼ばれていて、さらに小さい単位の素粒子であるクォークやクォーク間の力を媒介するグルーオンと呼ばれる粒子、あるいは場からできています。原子核・ハドロン物理は、このクォークとグルーオンから成るハドロンの構造や反応など、「強い相互作用」によるダイナミクスを研究する分野です。

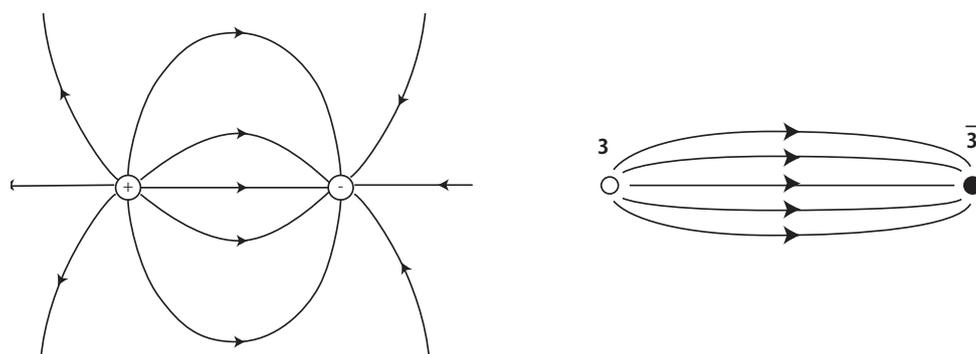
強い相互作用の基本原理は量子色力学（QCD）と呼ばれるゲージ場の量子論であることがわかっています。そこでは、クォークとグルーオンは「カラー」と呼ばれる電荷をもち、カラー電荷間のゲージ相互作用によって力を及ぼしあいます。クォークと反クォークが集まるとメソンができ、クォークが3個集まるとバリオンと呼ばれるハドロンができます。このようなハドロンは、励起状態も含めると数百種類におよび、多彩なスペクトルを形成します。その中には、クォークが4個以上集まってできるハドロンもあると予想されています。そのようなハドロンには新しいカラー構造が含まれているので、エキゾチックハドロンと呼ばれ、その証拠を探す実験が続けられています。

量子色力学は、電子のクーロン相互作用を表す量子電気力学（QED）と似た理論ですが、電子間の電荷に働くクーロン力に比べて、カラー電荷に働く力は非常に強いため、クォー

クはハドロンの内部の領域に閉じ込められています。クォークの閉じ込めは図のようにカラー電場がひも状に絞られることで実現します。

ところが、宇宙がビッグバンで生まれた直後の高温状態、あるいは、中性子星の内部などの特別な物質における高密度状態では、ハドロンからクォークやグルーオンが解放されてばらばらになった状態が実現すると理論的に予想されています。このような極限状態を確認することや、カラーの閉じ込めやカイラル対称性など、強い相互作用の性質やその起源を解明することが、現在のハドロン物理の中心課題となっています。

岡研究室では、QCD の理論的解明を進めるための様々な理論的研究を行っています。ホームページは <http://www.phys.titech.ac.jp/laboratory/oka.html>



(左) QED：正負電荷によって作られる電場の電気力線

(右) QCD：カラー電荷：クォーク  $3$  と反クォーク  $\bar{3}$  によって作られるカラー電場

## 山口研究室

夜空を眺めると広大な宇宙に私達が存在するのを感じます。その宇宙が私達の研究対象です。恐らく人類が誕生した直後から、人々は宇宙について思いを馳せて来たと思いますが、科学として宇宙を研究することが出来るようになったのはそれほど昔のことではありません。特にここ20年ぐらいの理論と観測の発展は目覚ましいものがあります。我々は非常に幸運な時代に生まれてきたと思います。様々な物理学を駆使し、宇宙現象の解明、宇宙誕生進化像の構築など宇宙の神秘に挑んでいます。

最近の観測と理論の発展により、宇宙の歴史について大雑把な描像が得られてきました。宇宙誕生直後に、「真空のエネルギー」と呼ばれる正体不明の奇妙なエネルギーにより急激に膨張し（インフレーションと呼ばれる）マクロな宇宙へと発展します。その間に、将来銀河などの構造となるエネルギーの揺らぎの種が蒔かれます。真空のエネルギーは熱として開放され、ビッグバン宇宙（熱い宇宙）につながります。（宇宙はビッグバンという大爆発から始まり、と良く説明されますが、残念ながら宇宙の始まりそのものについては現在でもほとんど分かっていません。しかし、宇宙が過去において高温高密度の状態にあったことは間違いのないようです。）宇宙が膨張すると温度が冷えてきますが、バラバラだった素粒子がだんだんくっつき、軽い元素が作られます。更に温度が下がると、自由に飛び交っていた電子が原子核に捕まって、光が電子に邪魔されることなく伝播するよ

うになります。我々は、137億年も旅してきたこのような光を現在観測することが出来ます。これが宇宙背景放射と呼ばれるものです。その後、蒔かれた種が成長し銀河や星が生まれ、星の爆発によって星の中で作られた重元素が宇宙にばら蒔かれますが、これが惑星、生命の材料となります。壮大なストーリーです。

一方、宇宙の歴史についてだけでなく、宇宙の構成要素についても驚くべきことが分かってきました。なんと宇宙の96%近くのエネルギーが、我々はその正体を知らない未知の物質から成っている、というものです。ニュートンが、リンゴが落ちるのも惑星が太陽の周りを回るのも同じ力に起因している、として天体の運動を理解して以来、我々の宇宙に対する理解は深まってきました。その際に重要なことは、地球上で成り立つ物理法則は地球外の宇宙においても同じように成り立っているはずだ、という考え方です。この考え方は今でも成り立つと考えられていますが、しかし一方、最新の観測結果が示す事実は、宇宙を構成している主な物質は、地球や太陽を構成している物質とは全く異なるものだというものです。

このように、我々の宇宙に対する理解が深まれば深まるほど、ますます宇宙は謎めいたものになっています。宇宙はどのように誕生したのか？インフレーションはどのように起こったのか？なぜ時空は4次元に見えるのか？暗黒エネルギー、暗黒物質の正体は何か？なぜ、反物質は宇宙にほとんど存在しないのか？このような宇宙の謎について、当研究室は取り組んでいます。

さらに、宇宙のような巨視的なもののダイナミクスは重力により支配されるので、宇宙の進化を語るときに重力の理解は欠かせません。重力の理論として、ニュートン重力に代わり、一般相対性理論がアインシュタインにより提唱されましたが、相対論が予言する不思議な現象（特異点、時空の安定性、宇宙のトポロジー、ブラックホールの蒸発、高次元ブラックホールなど）にも挑んでいます。また、宇宙誕生直後においては、重力に対しても量子効果が重要になりますので、超弦理論等の一般相対性理論を超える重力理論の研究にも興味があります。

## 13 基礎物理学・実験



河合 誠之



久世 正弘



河野俊之



実吉 敬二



柴田 利明



陣内 修



中村 隆司



宗宮 健太郎

### 河合研究室 「X線・ガンマ線で探る宇宙」

宇宙の遠方の中性子星やブラックホールの周辺では、地上では実現できない極端な高温、強い重力、強い磁場のもとで、物質が光速近くまで加速されたり、爆発したりする現象が起きています。このような激しい宇宙現象が私の研究テーマです。そのような、極端な条件での物理現象そのものが面白い上に、このような現象を道具として、宇宙の成り立ち、銀河の進化や元素の分布と起源も調べることができるのです。

たとえば、宇宙 $\gamma$ 線バーストと呼ばれる現象は、非常に遠い銀河での巨大な爆発です。その起源はまだ謎に包まれています。中性子星の合体か、非常に重い星の崩壊によってブラックホールが生まれるときに起る大爆発ではないかと言われています。 $\gamma$ 線バーストは非常に明るいので、非常に遠い（したがって今から遙か昔の）宇宙を探る手がかりになります。

私たちは、人工衛星からの速報に基づいて、 $\gamma$ 線バースト源を自動的に観測する我々だけの専用ロボット望遠鏡を山梨県に設置して、 $\gamma$ 線バーストのあとに微かに残る「残光」と呼ばれる光を観測しています。研究室の学生が観測し、そのデータを自分たちで解析します。特に興味深いと思われる $\gamma$ 線バーストに対しては「すばる」望遠鏡や「すざく」衛星による観測も行い、発生源の距離や環境を調べています。例えば、我々は128億光年の遠方、すなわち宇宙が始まってからまだ9億年の太古に発生した $\gamma$ 線バーストの残光を「すばる」望遠鏡によって観測し、現在存在する星や銀河がまだほとんど生まれていなかった太古の宇宙の様子を観測するのに世界で唯一成功しました。

さらに、フェルミ $\gamma$ 線宇宙望遠鏡衛星の国際協力チーム、国際宇宙ステーションの日本の実験モジュール「きぼう」上の全天X線観測装置“MAXI”チームにも参加してしており、このような衛星と、地上望遠鏡を駆使し、ガンマ線バーストの研究のほか、ブラック



なアプローチから重イオンビームを用いたがん治療の高精度化を実現することを目標に、以下のようなテーマを実施しています。

(1) 重イオンが標的中で起こす核破砕反応の影響を調べるための基礎研究

(2) 安定核が標的中で起こす核破砕反応により生成される陽電子崩壊核を利用した、入射粒子の飛程、線量分布の確認システムの研究

(3) 重イオンと気体標的の衝突による原子・分子の電離断面積の測定と電離機構の研究

(4) 上記研究に関連した測定器、測定法の開発

治療に直接タッチするわけではありませんが、それぞれの研究テーマは、重イオン治療の際に体内で起こっている物理現象の解明、治療の高精度化のための新しい測定法の開発など、放射線の医学利用に密接に関連しています。

## 実吉研究室 「機敏で賢いロボットの研究」

(1) 立体画像認識（立体カメラ）：複数の小型カメラを使って、人間と同じ原理で周囲環境を立体的に認識します。0.1秒ごとに32個の立体物を同時に認識でき（世界最高性能）、障害物回避や経路生成に大きな力を発揮させます。

(2) 静電力を利用した人工筋肉：静電力は電極間隔を小さくしていくと、電磁モーターより大きな力を発揮します。しかも軽く、効率も抜群です。筋肉として使えるよう様々な課題に取り組んでいます。

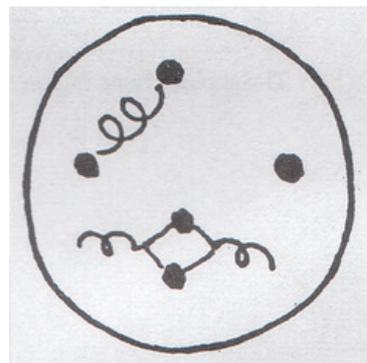
(3) 四脚歩行機構：地球上を人間と一緒に移動するには脚が一番です。これまでの脚移動ロボットはのっしのっしと動くのが多いのですが、今開発中のロボットはもっと軽やかな動きを目指しています。



## 柴田研究室 「陽子の中の反クォークの振る舞い、陽子のスピンの謎の研究」

陽子の中の反クォークの振る舞いを研究しています。陽子のスピン $1/2$ がどのように構成されているか、も重要な研究テーマです。

人の体や地球や星は、クォークと電子から構成されています。クォークから陽子や中性子が構成され、陽子と中性子から原子核ができています。現在の我々の宇宙は物質が優勢な宇宙です。今から約140億年前に宇宙が誕生した時には、物質と反物質がほぼ同量あったと考えら



れるが、対称性が破れて現在の物質優勢な宇宙になりました。物質優勢な宇宙になった理由は、まだ完全には解明されていません。

物質が優勢な宇宙においても、様々な過程により反粒子と粒子は対になって作られ、対になって消滅しています。例えば、陽子の中で反クォークとクォークが対になって作られ、対になって消滅しています。陽子の中でグルーオン（糊の粒子）が解離して反クォークとクォークの対になるからです。反クォークはクォークの反粒子です。グルーオンはクォーク間の相互作用を媒介する粒子です。実際の陽子は、クォーク、反クォーク、グルーオン（らせん）からできているということができます。高エネルギーの陽子と陽子の反応によって、陽子の中の反クォークを調べる実験を行なっています。反物質が消滅した理由を探る研究ということもできます。

陽子のスピンは $1/2$ ですが、前述のように、陽子は素粒子ではなく複合粒子なので、陽子のスピン $1/2$ がどのように構成されているかも実験により調べています。スピンとは粒子自身が持っている角運動量のことです。かつては、陽子のスピン $1/2$ は、もっぱらクォークによって担われていると考えられていましたが、そうではないことが現在ではわかっていて、「陽子のスピンの謎」と呼ばれています。これを解明するための実験を推進しています。

クォークは宇宙創成の直後には質量がゼロであったと考えられています。その後、ヒッグス場との相互作用によって質量を得たがそれは約2%に過ぎず、残りの約98%は強い相互作用、つまりクォークとグルーオンの相互作用によって得られた質量であると考えられます。クォークとグルーオンの物理は、世界中の多くの研究者が取り組んでいます。

柴田研究室では世界中の性能のすぐれた粒子加速器を用いています。アメリカのブルックヘブン国立研、フェルミ国立加速器研、日本のKEKなどです。

## 陣内研究室 「LHC アトラス実験を用いたエネルギーフロンティア素粒子実験」

高エネルギー素粒子実験では、粒子と粒子（LHCの場合は陽子同士）を超高エネルギーで衝突させ、高エネルギーにおける物質と力の振る舞いを精密に調べています。エネルギーを上げていくことで未知の素粒子の生成や、既存の素粒子理論から逸脱する事象が発見されることが期待されており、それがこの研究の主な対象となっています。高エネルギーにおける素粒子の振る舞いは、宇宙の誕生とその進化にも直接関係します。したがって素粒子実験は、究極のミクロの世界と究極のマクロの世界の両方を見極める壮大な研究領域なのです。

近年に於ける実験・理論の発展から、TeV ( $10^{12}$  電子ボルト) のエネルギー領域に、素粒子の標準模型（これまでの実験で精度高く検証されている理論）を超える新しい物理が見え始めることが強く示唆されています。LHC 加速器、及びアトラス実験は、スイスジュネーブにある CERN 研究所で行われている国際協力実験で、史上初めてこの TeV 領域を探索することを可能にします。LHC アトラス実験は 2010 年末から本格稼働を開始し、

Run1 と呼ばれる 3 年間の運転を終えました。この 3 年間のデータから、我々アトラスグループは 50 年前に予言され、長年実験で追い求めてきていたヒッグス粒子を発見しました。Run2 は 2015 年から開始され、陣内研究室もアトラス実験の運転・および新物理探索に取り組んでいます。

ここでは数多くの研究テーマがありますが、当研究室では主に以下の 3 つをテーマにしています。

- 超対称性や余剰次元などで予言される新粒子の探索、そして発見されたヒッグス粒子に関する詳細な性質の測定。
- 現行のアトラス検出器 (Run2) の中で荷電粒子の飛跡を捕える内部飛跡検出器の運転、及び性能向上のための研究。
- 2022 年から予定されている内部飛跡検出器の総入れ換えに向けた、新半導体検出器の開発。

これら 3 つのテーマどれもが世界最先端の研究活動なので、誰も正しい答えを知りません。これらの研究を世界中の研究所・大学の研究者と協力しながら進めています。

また、ポジトロニウムを用いた実験室内でできる小規模素粒子実験にも取り組んでいます。

研究室 HP : <http://www-hep.phys.titech.ac.jp/jlab/index.html>

## 中村研究室 「中性子超過剰核の物理、天体核物理」

原子の中心にある原子核は、中性子と陽子が非常に強い引力 (核力) で結び付いてできている超高密度な物質と言えます。我々の研究室では、中性子数が非常に過剰な原子核を対象に、その特異構造を研究しています。この中性子過剰領域には、低密度な中性子が雲のようにひろがって高密度のコア核の回りにまとわりついた「ハロー」原子核や、2 つの原子核同士が中性子「ボンド」でくっついて回転している分子的原子核など、通常の原子核にはない興味深い原子核が多数存在しています。我々はこうした原子核の独特な励起構造や反応様式を研究しています。

ところで、原子核の反応は我々の世界、宇宙を形成する元素の生成に深く関わっています。この元素生成は太陽や超新星爆発などさまざまな天体で現在も進行中です。我々はこうした元素合成に関わる原子核反応を地上の「加速器」を用いてシミュレートすることにより、天体における元素合成のプロセスの解明を進めています。

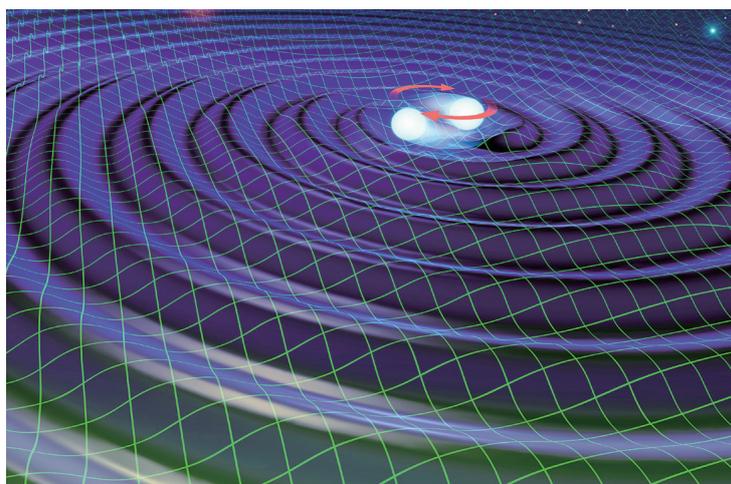
## 宗宮研究室 「重力波」

1916 年にアインシュタインが提唱した一般相対性理論は、ブラックホール連星の合体などといった大質量の変動を伴う天体現象による時空の歪みが遠方まで伝わることを予言し

ています。この時空のさざ波を重力波と言ひ、現在、欧米と日本で検出器の開発が進められています。地球上での重力波の影響は非常に微小で、変化量にして10のマイナス24乗ほどです。日本では、神岡鉱山の地下に長さ3kmの大型干渉計KAGRAを建設し、2017～8年の観測を目指しています。2013年現在、重力波を観測した例はないが、KAGRAや欧米の検出器稼働すれば、アインシュタインが21世紀に残した宿題を解き、宇宙のさまざまな謎の解明につながると考えられています。

本研究室では、KAGRAの要素技術の開発を行っています。KAGRAの感度は、量子的な揺らぎのみでほぼ決まっており、もっとも感度のよい周波数帯では、ハイゼンベルグの不確定性原理から要請される標準量子限界に到達するほどの感度があります。最近の理論で、この標準量子限界を超えることが可能ということが分かってきていて、KAGRAでは光によるバネを導入することで量子限界以上の感度を実現しようとしています。本研究室では、光バネに関する実験や光スクイーズ実験を進めています。

重力波の初観測が実現すれば、電磁波やニュートリノでは分からない、星の内部構造や、初期宇宙の様子などを知ることができます。重力波天文学という新しい学術分野が創成されるでしょう。量子重力論の研究が一気に進むと考えられ、これまでにない新しい物理現象を目にすることになるかもしれません。KAGRAによる重力波の検出はそのための第一歩であり、我々は新しい物理の窓を開くための研究を進めているわけです。



連星から発生する  
重力波のイメージ

## 第III部

# 先輩からのメッセージ

## 14 海外留学のススメ

旧物理学科4年（執筆当時）女子学生

私の方からは留学について書かせていただきます。私自身まだ短期のものしか行ってないのですが、学部3年の夏に語学留学でアメリカのワシントン大学、4年の春に短期派遣でイギリスのオクスフォード大学・インペリアルカレッジロンドン、4年夏に同じく短期派遣でアメリカのMIT・ジョージア工科大学といった大学を訪れてきて、現在は留学準備を進めています。私は入学当初から、留学はなんとなく絶対行きたいと思ったのですが、なぜ行きたいのか・どの方法で行きたいのか・どこへ行きたいのかが全て不明でした。これらの問いにはしばらく悩まされましたが、実際にいくつかの大学を訪れたことで判断材料を得ることができ、納得のいく決断をすることができたように思います。私のように留学に興味はあるけどようわからんという人はたくさんいると思うのですが、とにかく一度短期のものに行ってみるといいと思います。ここでは短期派遣のプログラムで実際にどのようなことをするのか、この前のアメリカでのことを書いていこうと思います。

私が参加したTiROPの短期派遣プログラムは、10日間でアトランタにあるジョージア工科大学とボストンにあるMITを訪れるというもので、奨学金もほんのり出ていました。まずジョージア工科大学ではプログラムに組み込まれていた授業や研究室を訪問しました。板書があったりポスターがあったりしたため英語でも何を言ってんのか大体はわかったのですが、まだまだ自分の英語力は改善の余地ありまくりだと痛感しました。機械系の話が多かったため、内容が頭に入ってこないことも多かったです。自分の専門外のことに触れる良い機会になったと思います。日本語クラスの学生との交流の場もあり、現地の学生と知り合うことができました。アメリカの学生は将来のビジョンをはっきりと持っている人が多いので、話していてとても刺激を受けました。一方MITでは研究室訪問のために自由時間が多く設けられていたので、事前に2人の教授と1人のPhDコース（日本における修士課程+博士課程）の学生とアポをとってそれぞれ訪問しお話をすることが出来ました。教授たちと話すのはなかなかヘビーでしたが、研究のことやMITの物理学科の事を色々教えてもらえました。PhDの学生は物理学科のお茶会に連れて行ってくれたので、そこで様々な物理学科の学生に会うことができました。お茶会にはパイやクッキーが用意されていたのですが（しかも結構おいしそうなのが）、日本人らしく控えめに食べていたらあっという間になくなってしまったので、今後アメリカでは遠慮という概念は捨てようと心に決めました。また、こっちでも日本語クラスの学生との交流があり、知り合った学生にキャンパスを案内してもらったり一緒にご飯に行ったりしました。帰り道凍えながらアイスを食べたりしてとても楽しかったです。アトランタでもボストンでも休日など自由時間があり、観光も楽しみました。

この訪問を通して特に印象的だったのは学問における自由さです。それぞれの大学でダブルメジャーをしている学生や専攻を変えている学生に何人も出会いましたし、MITでは物理学科の PhD コースに入った後に工学系の学科に移動するような学生もいるという話を聞きました。また、学科のお茶会では、異なる専門の学生が集まって活発に議論を行っている様子を目の当たりにしました。私は一つの専門に固執せず幅広く勉強をしたいと考えているので、このアメリカの学問間の垣根の低い環境を非常に魅力的に感じ、近いうちにアメリカで研究を行いたいと強く思うようになりました。

こまめに情報収集を行なっていれば、短期でも長期でも奨学金付きで海外へ行くチャンスはいくらでもあります。もちろんある程度の成績・語学力のハードルはあるかもしれませんが、早めの準備によって解決できることも多いと思います。せっかくの自由な学生生活なので、ちょっとでも興味があることには積極的に行動を起こしていくのがいいと思います。その結果やっばいいやと思ったらやめればいいし、面白いと思えたらラッキーですよ。

## 15 海外留学のススメ

旧物理学科4年（執筆当時）女子学生

私は3年生の春に大学のプログラムでアメリカのボストンにある、MITとブラウン大学に10日間の短期留学に参加しました。私が留学に興味を持ったのは、大学2年生ごろで、スターバックスでのアルバイトがきっかけです。今まで全く英語は話せませんでしたが、外国からのお客さんが多くいらっしゃるお店だったので、簡単なやりとりを英語でできるようになるうちに、自分のつたない英語が通じる嬉しさやもっといろんなコミュニケーションを英語でとれるようになりたいと思うようになりました。また、東工大生は英語が苦手な人が多いので、英語が得意だというのは自分の大きな強みになると考えました。そして英語を話せるようになるには、英語に囲まれる環境に身をおいてみるのが一番！というとても短絡的な考えで、この短期派遣に応募しました。

留学を通して感じたことが2つあります。1つはアメリカの大学生はめっちゃくちゃ勉強するということ。これはよく耳にすることですが、実際日本の学生と何が違うの？と思っていました。実際アメリカの大学では、廊下に座り込んで本を読んでいる人、パソコンで真剣にプログラムを書いている学生たちが、大学構内に溢れているのです。また大学のいたるところにホワイトボードや黒板があって、その前で議論やら話し合いをしている人たちもたくさん見かけました。とにかくみんな学問に対して貪欲なのです。授業に参加したときも、授業中居眠りをする生徒は誰もいないし、わからないことはどんどん質問するし、意見があればすぐ発言する人がたくさんいるのです。これらの光景を初めて目の当たりにして、自分の勉強に対する姿勢に喝を入れられた気持ちになりました。また、アメリ

カの学生は自分の意志、意見をしっかり持っていて、それをはっきり人に伝えることに慣れています。この姿勢は見習わなければならないと強く感じました。

2つめは英語に対するモチベーションについてです。前述のとおり、なんとなく英語に興味があり、なんとなく英語の勉強をしていましたが、いざアメリカにいて不自由なくコミュニケーションをとれるはずがありません。聞き取れない、通じない、の連続でした。しかしこの経験は私の英語学習の意識を大きく変化させました。目の前の人に向かって何か伝えているのに理解できなくて悲しいとか、相手に伝えたいことがあるのに伝わらない悔しさを肌で感じるのが、語学習得には必要だと思います。

私は今研究室に所属して短期留学にいてよかったと心から思っています。研究をすすめる上で英語が必要不可欠なのはもちろんですが、研究に限らず、社会に出て行くうえで、自分のやりたいと思うことをしっかり持つこと、それを相手にきちんと伝えることが何よりも大切だからです。私は相手が誰であっても、理解できないこと、納得できないことは気の済むまでとことん議論するように心がけています。

東工大には留学や国際交流のプログラムが充実しています。活用しないともったいないです！いろいろと書きましたが百聞は一見に如かずということで、とりあえず海外にしてみるのが一番です！たくさんの人が海外にいて、素敵な発見をすることを願っています。

## 16 先輩からの一言

旧物理学科4年（執筆当時）男子学生

新一年生の皆さん、ご入学おめでとうございます。この度、先輩からの一言ということで、皆さんに「一言」を送ることとなりました。そこで、「物理を本気でやりたいと思っているんだけど、なかなかモチベーションが保てないなあ。」って思っている人達を対象に、何か役に立つ「一言」が言えないかと考えてみました。「あ、俺のことじゃん。」とか思った君はもちろん、「いや、俺には関係ないし。」とか思った君でも、まあ固いこと言わずに読んでみて下さい。

皆さんは、「宇宙の果てに何があるの?」とか、「物質を細かくしていくと何が残るの?」といった質問を聞いたり、考えたりしたことはありますか?これらは、いわゆる世間一般で言う物理のおもしろさですね。こういったことを考えるのは、きっと楽しいことなのだと思います。しかし皆さんが、今、こういったことに楽しさを感じていたとしても、もしかしたら、これから物理の講義を受けたりして勉強をしていくうちに、これらの楽しさを忘れてしまうことがあるかもしれません。実際、物理の勉強は大変です。その大変な作業を続けていくには、上の、「楽しそうな」質問だけでは弱すぎるのではないかと自分は思ってしまうのです。

今、自分は四年生になって卒業研究を行っています。そこで研究者の世界を垣間見ることが出来ます。そこでの「おもしろさ」はもっと強烈です。まず第一に、生活がかかっています。研究者として生きていくには、研究が出来なければなりません。研究が出来なければ、死にます。つまり、一日何時間勉強してしようが、テストでどんなに良い点数が取れようが、そんなことどうでもいいのです。研究さえ出来ればいいのです。遊んでいたって構いません、研究が出来るならば。先生、学生、先輩、後輩なんて関係ありません、研究が出来るならば。研究者はみな目をぎらつかせています。誰よりもかっこよく、そして誰よりも強烈に、非自明なことを予言して論文を書いてやれ、と。

…。ちょっと調子に乗りすぎてしまいました（大丈夫かな…汗）、上で言ったことは、あながち的外れでもないと思います。もちろん、勉強していなければ研究は出来ませんし、先生、学生、先輩、後輩は当然あります。そして研究が出来なくても死にはしません（研究者としては「死ぬ」かもしれませんが）。しかし、研究者が感じている「おもしろさ」の中には、上の、ある種の「ぎらついたおもしろさ」が少なからず含まれていることに、間違いはないように思います。

ここで、物理の勉強が大変で、最初に述べた「世間一般で言う物理のおもしろさ」を忘れてしまいそうな人達のために、この「ぎらついたおもしろさ」を体験する方法を述べて、長い「一言」を終わりにしたいと思います。

実は、皆さんの今いる世界は、この「ぎらついたおもしろさ」の世界とつながっています。アクセスする方法は簡単です。論文を読んで、非自明なことを見つけて、その分野の専門家に見せるだけです。そしてそれが本当に正しければ、その専門家の方が何かしらの反応を示してくれるはずです。例えば、論文を書くように勧めてくれたりとか、学会で発表する様に勧めてくれたりとか。

もちろん、大学の一年生でそんなことが出来るのは、世界のほんの一握りの天才だけです（当たり前ですが、自分には無理です。）。しかし、「ぎらついたおもしろさ」の世界が、実は皆さんの世界とつながっているのだと考えると、それだけで少し、「おもしろく」なっ

## 17 女性の皆様へ

旧物理学科4年（執筆当時）女子学生

新入生の皆様、ご入学おめでとうございます。たくさんの希望を胸に、新しい生活をスタートされたことと思います。

ご存じの通り、東工大は女性が圧倒的に少ない大学です。女性の皆様、特に女子高から東工大に進学された方は、不安に思うこともたくさんあると思います。そこで私自身の大

学生生活を振り返りながら、お伝えしたいことをまとめてみたいと思います。皆様の模範にはなれませんが、女子という少数派である私の体験をお伝えすることで、皆様の不安な気持ちに少しでも晴れやかになっていただければ幸いです。

## 1. 始めに

大学生活では、すべてひとりで解決しようとしてもいつか必ず助けが必要になったり、逆に必要とされたりする時が来ると思います。そんなときのために、先生方や同類同学科のクラスメート、先輩、サークルを通して知り合う仲間など、いろいろな方と親睦を深めることはとても大切なことです。以下、私が物理学系での学生生活においてどのように交流の幅を広げて、充実した4年間を送ることができたかということを書いていきます。

## 2. 演習で

講義の内容を補い、より自分のものにしていくために演習の授業があります。ひたすら問題を解くわけですが、あまり勉強が得意ではない私にとっては、演習問題は脳内補正で文字化けレベルでした(笑)。しかし、友達と大いに議論して答えを出しなさいという先生のお言葉をありがたく頂戴して、色々な友達と話し合いました。これは勉強するという意味でも、友達の幅を広げるという意味でも、大きな一歩になったと思います。さらにどうしてもわからないときは、直接担当の先生をたずねて質問したり、相談室を利用したりしました。私はここが納得できない、こちらの方が正しく見えるなど自分の理解できない部分を伝えると、どなたにも親切に解説していただきました。

1、2年生のうちに色々なところに足を運んでみて、自分にあった方法をじっくり見極めてみるといいと思います。

## 3. 実験で

1年生の基礎物理学実験はパートナーが通年固定なので、一度仲良くなると実験やディスカッションなどスムーズにできると思います。一方、3年次の物理学実験ではパートナーが1週間ごとに変わります。実験が始まる前はこの点について、女子少ないしどうしようとすごく心配でした。しかし実際はすぐに打ち解けあい、初対面のパートナーとも滞りなく実験ができました。また実験では、先生と修士1年のTAさんが監督してくれます。とても親切でフレンドリーなTAさんばかりなので、仲良くなって勉強のことや将来のことをたくさん相談することはとても有意義だと思います！

## 4. 終わりに

頭が良くなく、あまり社交的でもない私が素敵な学生生活を送ることができたのは、やはり周りの方々の支えがあったからです。女性だからといって遠慮などせずに、周りの方に助けてもらいながら色々なことに挑戦してほしいと思います。皆様が素晴らしい日々を送ることができますよう、陰ながらお祈りしています。

## 18 物理は楽しい

旧物理学科4年（執筆当時）男子学生

この文章を読んでいる皆さんはこれから始まる大学生生活に期待や不安で胸が一杯でしょう。そんな皆さんに対し、有用なアドバイスができるか自信がありません。しばらくお付き合いください。皆さん、すなわち1年生は物理学で言えば力学、電磁気学、基礎物理実験を勉強されますよね。はっきり言って結構難しいです。でもそこで悲観せずに選択肢から物理学系を外さないで下さいね。後でどうにでもなります（私は今でも一部全く分かっていません）。1年生で大切なのは自分がどこの学科に行きたいのかを見極めることです。2年になり物理学系に所属すると必修科目も出てきて専門的になります。後期になると量子力学も始まり、どの研究にも直結する科目が出てきます。難しいですが、理解できたときの喜びも大きいですよ。サークルでも先輩になり忙しくなり、勉強に割く時間が減ってきます。悪いことではないと私は考えます。3年生になると実験が始まり、授業は専門性を増します。実験レポートが多く大変で、授業も理解できない科目も多少でてきます。ここで大切になるのが友達ですね。過去レポが飛び回り始めます。過去レポを見ることや友達に分からないことを聞くことは悪いことではないですよ。ただ問題なのは理解できなくても、友達の意見や過去レポを丸写ししてしまうことです。4年生は大学院入試に始まり、卒業研究に没頭することになるでしょう。自分の机がもらえ、勉強の仕方が一気に変わります。勉強の面から述べると一番充実した時期になります。話がまとまっていなくてごめんなさい。私はまともに勉強してこなかった人間なので、ちゃんと物理学系を紹介できるほど、物理学科を知らないのです。しかし一つだけ皆さんに信念を持ってお伝えできることがあります。それは

### 物理学系は良い!!!

物理は楽しいですよ。もちろんちゃんと取り組んだらの話ですけど。私は今実験系を組み上げているのですが、なかなか進みません。世の中思い描いたとおりになんか絶対に進まないのですね。実験結果も同じです。データを出せなかったり、全く期待とは違ったのがでてきたり…。だからこそ、思い描いているデータや、理屈がわかったときの喜びは正に筆舌に尽くし難しです（文章能力のなさの言い訳です）。ビールの味は最高です。この快感は物理学系ならどこの研究室に所属しても体験できるでしょう（しつこく言いますが、努力した場合です）。また研究室も豊富です。宇宙やっている研究室から生物みたいなやっている研究室までいろいろです。きっと皆さんが興味を持っている研究室が見つかるはずですよ。またそれなりに勉強していれば、サークルなど課外活動に没頭していてもちゃんと卒業できます。課外活動が原因で留年したり、勉強が分からなくなったりしたという話は聞いたことがありません。皆さん、是非サークルには入りましょうね。先輩ができますし、友達が増えます。サークルによっては他の大学の知り合いもできます。東京工業大学理学部に入学する学生は良い意味でも悪い意味でも偏りがあります。いろいろな人と関われることは自分の視野や可能性を広げます。私自身は大人数の合唱団に所属して、多くの人と関わったことは大きな財産となっています。勉強以外に熱中するのはいいこと

です。サークルに限ることではありませんね。アルバイトでも学外の団体でもいいでしょう。むりやりまとめますが、とにかく物理学系、勉強にしろ課外活動にしろやりたいことやれます。どんなことにも全力投球できる学科です。それって別の学科じゃ駄目なの？という質問は受け付けません。知りません（笑）。これから一年間学科選びに頭を抱えることになるでしょうが、それも幸せなことです。大いに悩んでください。そして自分の行きたい学科を見つけ出してください。

【補足】ここに書けないようなことは多岐に渡ってあります。ぜひ先輩や友達を通じて聞いてみてくださいね。

## 19 物理学系に入るまでにやってほしいこと

旧物理学科4年（執筆当時）男子学生

新一年生の皆様、入学おめでとうございます。今回は新入生の皆様にアドバイスということで将来研究をするときに必要で1年のうちにやってほしいことをお話したいと思います。参考程度でもお役にたてれば幸いです。

### 1. 議論をしよう

議論をしましょう。自分一人で考え込んでいるだけではいつまでたっても理解が深まりません。友人と議論を行うことで、自分になかった考え方を得られたり、誤った考え、偏った視点を修正したりすることができます。また自分の考えを相手に話すことで自分の考えを整理することもできます。勉強でも研究でも行き詰った時に先輩や先生にアドバイスを求めることがありますが、自分が何をやっていて何ができないかを明確に相手に伝えないと良い反応は期待できません。またグループで研究を行っている場合、グループ内の共通認識は必要不可欠ですがこれは議論を通じてしか得られないと思います。ぜひ、1年のうちに議論をすることを覚えてください。

### 2. レポートはしっかり書こう

4年になると卒論が待っています。他にも大小さまざまなミーティングなど自分の研究を発信する場は多々あります。そこでは自分が行ってきたこと、自分の考えをわかりやすい言葉や表現にまとめることが求められます。いきなりできるわけがないです。なので、レポートはしっかり書いてください。授業等が出るレポート課題は訓練です。最初はまともな文章にならないかもしれませんが、自分の考えを整理するよう努め、どうすれば相手に理解してもらえるかを考えながらコツコツ繰り返していけば次第にしっかりしたものが書けるようになります。場数を踏むことが重要です。レポート作成にあたり、友達や先輩のレポートは大いに参考にしていると思います。議論と同じで他の人の考えを取り入れることは大切です。まる写しでは意味がないですがきちんと理解した上で参考文献として使うのは良いことだと思います。

### 3. 実験をしよう

実験して下さい。自分の手で実験をやってみることで実験の難しさや面白さがわかります。うまくデータが取れたときの感動は何とも言えないものです。ぜひ実験の面白さを体感してください。生実験では失敗も多々あります。何が原因でうまくいかないのか、どうすれば改善できるのか徹底的に考えてください。この積み重ねは貴重なものになると思います。また、実験では本当に多くのスキルが必要になります。物理の理論だけでは実験はできません。さまざまな技術が必要になります。全部すぐ覚える必要はないですがちょっとでもかじっておくと後々すごく生きてきます。それらを知るには実験をやってみるしかないと思います。

### 4. 自分が何をやりたいのか知ろう

研究活動が続けるためにモチベーションを維持することが非常に大切です。研究はうまくいくほうが珍しいです。毎日へこむことばかりです。だから好きでやっていないければ続きません。自分は何が好きで何がやりたいかを知るには実際にやってみるしかないと思います。手を動かしましょう。物理実験だけでなく化学や地球惑星科学の実験、数学の演習、コンピュータの演習などにも参加してください。文系の科目もいろいろやってみてください。勉強だけでなくサークルやバイトなどの経験も後々役に立ってきます。先生や先輩にいろいろ話を聞いてみるのもいいと思います。手広く経験し、知識を蓄えてください。そのうえで物理がやりたいという熱意をもって物理学系に進まれるのがいいと思います。

## 20 先輩からの一言

旧物理学科4年（執筆当時）男子学生

ご入学おめでとうございます。新入生の皆さんはこれから始まる大学生活に不安と希望で満ち溢れていることと思います。実際、大学ではなにをやればよいか教えてくれる人はいません。これはとても不安ですよ。でも、逆に何をやっていても最低限の単位さえ取れば卒業できます。大学生活はとても自由です。バイト、サークル、勉強、その他いろいろやりたい事があると思います。ぜひ、いろいろなことに挑戦してほしいと思います。

物理学系の先輩として一言ということなので大学に入って4年間、物理を勉強して思ったことを素直に書こうと思います。主には「物理は楽しい」ということ「わからないことは頭の片隅に」、「視野を広く持つ」、「友達は大切」ということが伝わったらいいな、と思います。

皆さんの中で物理に興味のある人たちは宇宙や素粒子に興味がある人、物質の変わった性質に興味がある人、物理の中で使われるきれいな数学の体系に興味がある人、いろいろ

な興味があると思います。実際、物理はいろいろな意味で楽しいですよ。とにかく、苦手意識を持たずにいろいろ勉強してみてください。きっと楽しい！

物理は楽しいとは言ったものの、その反面で物理は難しいです。1年生では力学、電磁気学、熱力学などを勉強することになると思います。授業を受けても、教科書を読んでも先生に聞いても、「どうもよくわからないなあ」と思うことがしばしばありました。でも、わからないからと言って物理は嫌いと思ってしまうのはすごくもったいないと思います。そういうことは、頭の片隅にしまって置いてください。そのとき、いくら考えてもわからなかったことがふとした拍子に分かってしまうことって良くありますよね。そういうときが物理って面白いって思える瞬間だと思っています。

物理学系に入ると力学や電磁気学、熱統計力学、量子力学を始めいろいろなことを勉強します。最初は興味のない分野もあると思います。でも、勉強しているうちに、別々に見えていた分野のつながりが見えてきて、だんだん面白くなってきます。それに興味のない分野が今まで興味があった分野よりも楽しくなってしまうことだってあるかもしれません。実際に、そういう友達も何人かいました。より好みせず広い視野を持って勉強するともっと楽しくなると思います。

最後に物理学系に入るといろんな意味で友達は大事です。どうしても出られない授業のノートを貸し借りすることもありますし、大学の重要な連絡は大抵の場合掲示板なので見落とした連絡事項を友達から聞くことは1年生のうちに経験すると思います。2年次には講義に加えて演習の授業があります。物理学系の全体を2つに分けた30人くらいのクラスで講義に関連した問題を解いていく授業です。各学期に演習の授業は2つから3つ程度あり、毎週数本のレポートを書くことになります。正直、結構大変です。そこで、自然に周りの友達と相談しながらいろいろな教科書や講義のノートを見ながら議論しつつレポートを書くようになります。自力で解けた問題でも他の友達の回答がとても綺麗で、こんな解き方あったんだ！と刺激を受けたり、友達の答えと一致せず一緒に悩んだりするようになります。遅くまでかかってレポートを仕上げた後のお酒はおいしいですよ。

さらに3年生になると物理実験が加わります。実験のパートナーは毎回変わるので今まで話したことのない人とも組むことになります。実験は毎回A4で20枚程度のレポートを書くので実験している間だけでなく、データの共有や結果の考察などを一緒にやることもあって結構仲良くなります。今まであまり話したことのない人たちと議論してみると自分の知らなかったことをいろいろ学ぶことができます。

また、同じ様な興味を持っている人たちと自主セミナーをするのはとても勉強になります。たとえば、物理学系の授業にはない数学の分野を勉強したいと思ったり、もっと進んだ物理の内容を勉強したりするのに、一人で勉強するのは心細いですよね。ぜひ、友達を募って自主セミナーをやってみてください。教科書を読んで理解したことを人に説明する難しさが分かると思います。そういう意味でも一緒に勉強する仲間は大切にしましょう。

## 21 先輩からの一言

旧物理学科4年（執筆当時）男子学生

皆さんご入学おめでとうございます。新入生向けに文章を書け、とボスからとてもありがたーいご命令をいただいたので（ちなみに卒論執筆中!!）何か書かなくてははいけません。しかし僕自身つたなく物理を勉強する身なので、何かアドバイスを、と求められても的確な答えを返す自信もないし、大学の授業なんて聞いたことほとんどないし、そもそも新入生と言っても十人十色で、誰へのアドバイスなのよ？とつつこみたくもなるので、（池澤夏樹さんってご存知ですか？物理学科を中退して作家になった人です。彼も昔はいい小説を書いたんですがねえ。）ここでは僕が物理（の理論、実験のことは寡聞にして知りません。）に対してごく個人的に持っている印象について書き、雰囲気をつかんでくれたらなと思います。

物理理論の持つ際立った特徴の一つとして、それが比較的シンプルな原理から構成されているという事実が挙げられると思います。例えば“重力場とは時空の歪みである”と主張する一般相対論は、とても難しい理論のように思われがちですが、そうではありません。一般相対論の核となるアイデアは“自由落下する観測者は自分にかかる重力を感じない”という当たり前の観察結果です。（高校生の時に習った慣性力という言葉思い出してみてください。）一旦これを原理として受け入れてしまえば、余計な仮定を置くことなくブラックホールから重力波、ビックバンまで多彩な現象を理解することができます。このほかにも、ゲージ原理、エルゴード仮説、超対称性、自発的対称性の破れなど、物理を勉強していると単純さが複雑さを制するような場面に出くわすことが多々あります。次に引用する二十世紀の偉大な物理学者リチャード・ファインマンの言葉は、何よりも巧みにこの特徴を表しています。

もしいま何か大異変が起こって、科学的知識が全部なくなってしまう、たった一つの文章だけしか次の世代の生物に伝えられないと言うことになったら、最小の語数で最大の情報を伝えられるのはどんなことだろう。私の考えでは、それは原子仮説（原子事実、そのほか、好きな名前でもよんでよい）だろうと思う。すなわち、すべてのものは、アトム – 永久に動き回っている粒で、近い距離では互いに引き合うが、あまり近づくと反発する – からできている。というものである。これに少し洞察と思考とを加えるならば、この文の中に、我々の自然界に関して実に膨大な情報量が含まれていることがわかる。

二つ目の特徴は、物理理論は確かに現実を記述していることです。当たり前でしょ？と思われるかもしれませんが、さにあらず。そもそも我々目の前の現実には不確定要素が多すぎて、一見神様の気まぐれで世界は動いてるんじゃないかと思えるほどです。（例えば今日の帰り道、あなたは吐き捨てのガムを踏まないと言えますか？絶対に??）そんな有象無象の中から、物理法則を帰納しようと思ひ立ち、さらにはそれを実際に定式化して見せた先人達の勇気と努力には敬服せざる負えません。この世にあまた存在する数学形式のひとつに、なぜか特別な意味が与えられていて、それを学ぶというごく個人的な経験

によって、我々は確かに世界の最も客観的で、確固とした側面を知ることが出来てしまうのです。長くなったので最後にアインシュタインのこの名言でめたいと思います。

この世界で最も理解しがたいことは、この世界が理解できるということだ。

## 第IV部

# 物理学系教員が推薦する図書

以下は、物理学系の教員が新入生の皆さんに一読を薦める図書です。私達は、皆さんが単に教科書から学ぶだけでなく、このような本から物理学だけでなく科学一般に対する好奇心をはぐくみ、それを皆さんの将来の糧としていただきたいと希望しています。

**朝永振一郎「スピンはめぐる - 成熟期の量子力学」** 自然選書 中央公論社（新版 みすず書房）

この本は、複数の教員から推薦とコメントがありました。以下、コメントです。彼の講義の雰囲気、そのまま伝わってくる感じです。量子力学が出来上がっていく過程が、人物像とともに生き生きと描かれていて、こんな講義を受講したら、素晴らしいだろうと思いました。朝永老人の飄々とした思い出を聞くうちに、量子力学の歴史が良くわかる。しかも、物理の中身についても理解が深まるという他に類を見ない本。全部きちんと理解するにはかなりの力と時間が必要だが、軽く読むだけでも生き生きとした歴史がわかって面白い。アメリカにファインマンあれば、日本に朝永あり。是非一読を薦めます。

**朝永振一郎「物理学とはなんだろう I II」** みすず書房

**朝永振一郎編「物理学読本」** みすず書房

**湯川秀樹「旅人—湯川秀樹自伝—」** 角川文庫（この自伝は映画化されるようです。）

**霜田光一「歴史を変えた物理実験」** 丸善 1986年

**南部陽一郎「クォーク」** 講談社ブルーバックス

**池内了編「科学と科学者のはなし 寺田寅彦エッセイ集」** 岩波少年文庫

**有馬朗人監修「研究者」** 東京図書

**有馬朗人監修「研究力」** 東京図書

**有馬朗人「物理学は何をめざしているのか」** ちくまプリマーブックス

**R. P. ファインマン 大貫昌子訳「ご冗談でしょう、ファインマンさん I II」** 岩波書店

**R. P. Feynman “Six Easy Pieces”** (Addison-Wesley)

**R. P. Feynman “Six Not-So-Easy Pieces”** (Addison-Wesley)

**R. P. ファインマン 江沢洋訳「物理法則はいかにして発見されたか」**（ダイヤモンド社）  
東工大の図書館にはありますが、実は絶版だそうです。学生の頃読んで、対称性、重力法則、量子論での波の考え方など、とても印象深いものだったと記憶しています。

- アンソニー・J・レゲット 高木伸訳「物理学のすすめ」紀伊国屋書店 科学選書6
- S・ワインバーグ 本間三郎訳「原子と原子核の発見 20世紀物理学を築いた人々」日経サイエンス
- S・ワインバーグ 小尾訳「宇宙創成はじめの三分間」ダイヤモンド社(ちくま学芸文庫)
- S. Weinberg “The Discovery of Subatomic Particles” 日本語版「電子と原子核の発見」本間三郎訳
- マーティンガードナー 坪井忠二他訳「自然界における左と右」紀伊国屋書店 1993年
- ロバートPクリース他 鎮目恭夫他訳「セカンド・クリエーション」I II 早川書房 1991年(人名訳に誤訳があるが、楽しめる)
- J. ウォーカー 戸田盛和他訳「ハテ・なぜだろう物理学 I II III」培風館 1995年
- 小山慶太「ファラデー - 実験科学の時代」(講談社学術文庫)  
伝記、ファラデーだけでなく、当時の他の科学者も紹介している力作
- J. M. トーマス 千原・黒田訳「マイケル・ファラデー 天才科学者の軌跡」東京化学同人
- ゼーリッヒ 広重訳「アインシュタインの生涯」東京図書  
若き日のアインシュタインの生き様がよく描かれている。
- 島尾永康「ニュートン」岩波新書
- 青木靖三「ガリレオ・ガリレイ」岩波新書
- 桜井弘編「元素111の新知識」(ブルーバックス)  
化学系で、1つ1つの元素を紹介しているだけですが、意外に面白い
- アンリ・ポアンカレ 吉田洋一訳「科学と仮説」岩波文庫
- 「パリティ」(丸善)  
本でなくて雑誌ですが、物理学の最新の研究成果がわかりやすく紹介されていて面白い
- 三島由紀夫「豊饒の海」(全4巻)  
人間存在の不確かさを輪廻転生を通じて描いた、三島の最後にして最大の傑作。20歳のころにぜひ読んでほしい。
- 曾野綾子「哀歌」(全4巻)  
1990年代のルワンダにおける大虐殺事件の描写を通じて、限界に置かれた人間の愛と尊厳を問い詰めた魂を揺さぶる一冊。