

大阪市立大学
大学院理学研究科・理学部

2012年度

物理学科概要

(1回生用)

2012年4月2日

大阪市立大学

大学院理学研究科・理学部 物理学教室

新入生の皆さんへ

新入生の皆さん、ご入学おめでとうございます。今、皆さんは、長かった受験勉強が終わって開放感を味わうとともに、今日から始まる大学生活に向けて期待で胸を膨らませていることと思います。皆さんが大阪市立大学理学部物理学科に入学するに至った経緯は、人によって様々なものがあることでしょう。第一志望の学科に入学できて満足している人もいるでしょう。その一方で、第一志望に落ちて心ならずも大阪市立大学の物理学科に入学した人、センター試験の点が大阪市立大学の物理学科の合格圏内にあったからともかく受験して入学した人もいるかも知れません。しかし入学したからには、市大に入学するまでの経緯はすべてリセットされると考えてください。**最も重要なことは、皆さんの前に広がる、可能性に満ちた世界をどう歩むか**ということです。

高校で習う理科は、物理学、化学、生物学、地学と、四つに分かれています。これらの間には、どのような関係があると思いますか？単に対象を分けているだけだと思いますか？それは違います。実は、理科、すなわち自然科学は、物理学をその基礎におき、その上に築かれているのです。化学も、生物学も、地学も、その根本的なところは、物理に依っているのです。化学や地学はさておき、生物学のどこに物理学が顔を出すのだろうと思われる方もいるかもしれませんが、学問の優劣を話しているのではありません。自然科学の体系として、物理を基礎と捉える考え方があるのです。重要なことは、物理は単に自然科学の土台を作っているだけではなく、まさに人類の知の最先端まで貫いているということです。皆さんも耳にしたことがあるでしょう—素粒子、ビッグバン、ブラックホール、超伝導、レーザーなど。これらはすべて物理学の研究の中で生まれ、または発見されてきたものです。さらに近年は、生命現象の理解にも、物理学の手法が絶大な威力を発揮しています。これらの物理現象は皆さんが市大物理学科で学ぶ対象でもあります。最近の高校生全体の物理の履修率は十数パーセントと言われていています。これは驚くべきことで、皆さんのご両親の世代では、高校生の物理の履修率はほとんど百パーセントでした。日本人は明らかに物理を学ばなくなってきたのです。科学・技術の土台であり、今後も自然科学の基礎となる物理学をおろそかにしているとしたら、日本の将来は非常に危ういものであると言わざるを得ません。そのような中で、高校で物理を勉強してきた、さらに大学でも物理を勉強しようとしている皆さんの存在は非常に貴重なものです。

皆さんはこのような物理学を専門に学ぶべく、市大物理学科でスタートラインに立ったわけですから、そのことを誇りに思ってください。

最後に大学の授業に臨む態度について書きます。大学は、高校よりも、休みの期間は長いでしょう。しかし、いったん授業が始まると、その進度は高校よりもはるかに速く、レベルも高いのです。皆さん、高校での勉強を思い出してください。例えば、数学を、定期試験の直前だけ勉強したという人は、皆さんの中にはいないでしょう。日々勉強しなければ、高校数学はマスターできないということを肌で知っているはずですが、大学で学ぶ物理学は、高校で学ぶ数学や物理学よりもレベルが高いのです。高校より難しいものを、高校より勉強せずして習得することは原理的に不可能です。日々授業を聴き、きちんと勉強しなければ大学の授業についていくことはできません。ここで勉強という言葉を使いましたが、大学での勉強は自分で考えることが中心です。初めのうちは教科書と呼ばれる本を読むことから始まるでしょう。本を読めば知識を得ることはできますが、考えないと知力つきません。暗記する勉強は止めましょう。考えて、考えて、考え抜くということが出来るのは大学生の特権です。物理はいわゆる積み上げ型の学問ですので、この特権を生かし、基礎的な内容の学習に精一杯努力してください。もちろん、全てが理解できるとは限りません。基礎的な内容も、突き詰めると最先端の研究においてもわかっていないことがらに関係があったりします。逆説的ですが、最先端の研究をしている教員スタッフにとっては、わからないことの方が重要で、その解明に日々奮闘しています。理解するとは、理解していることと理解していないことの境界を認識することだと思えます。大切なことは、わからないことと向き合うことです。直ぐに理解できないからといって放り出さず、そもそも自分が理解できていない内容は何か、どうして理解できないのか、を絶えず意識して、辛抱強く色々と調べ、考え続けてください。市大物理学科では、こうした姿勢で皆さんがきちんと勉強してゆけば、力学、電磁気学といった科目から始めて、量子力学、相対性理論を経て、先に述べたような自然科学の最先端に到達できるカリキュラムを用意しています。さらに物理学を極めたい人は、大学院に進んで、世界第一線の研究を行うことができます。市大物理学科は、国内のみならず世界第一線の研究を行っている優れた教員スタッフを多数擁しています。4年生になって行う大学での研究ということは世間一般からはかけ離れたことのように感じるかもしれませんが、卒業後にどんな仕事に就いても大学時代の研究を通して得た経験は大きな財産となります。

実は大学生活は初めが肝心です。上記のことをよく噛み締めて、大学生活の良いスタートを切ってください。皆さんの大学生活が充実したものになることを、物理学科の教員一同、心から願っています。

2012年4月2日
物理学科主任 小栗 章

理学研究科・理学部 物理学科 1 回生のための注意事項

2012 年 4 月 2 日 物理学科主任 小栗 章

1. 履修規程は入学年度のもの（入学時に配布されたもの）が卒業するまで有効です。したがって、下の学年の履修規程は、たとえ変更があっても適用されませんので注意してください。もし留年した場合は特にこのことに注意してください。この概要は、2012 年度（平成 24 年度）入学者用です。
2. 大学においていろいろな連絡はほとんど全学ポータルシステムや学生サポートセンター等の掲示板を用いて行われます。全学ポータルサイトの確認や、登校したら必ず掲示板を見ることなどを習慣づけてください。時間割・教室等の変更がある場合や、各種奨学金や授業料免除などの応募情報等もポータルサイトや学生サポートセンター掲示板に掲載されますので注意してください。大学のホームページにも有用な情報がありますので参考にしてください。
3. 学生教育研究災害障害保険（学研災）等の障害保険に加入してください。
4. 定期健康診断は、毎年必ず受けてください。市大全体で、毎年数名の学生の結核が健康診断で発見されます。これを発見せずに放置しておくと、本人のみならず周りの人にも伝染して深刻な事態を引き起こします。また近年、麻疹（はしか）の流行も問題になっています。これも抗体を持っておらずに感染すると、場合によっては大学全体が休校措置をとらなければならない事態も予想されます。教員免許取得のための「教育実習」・「介護等体験」を行えない場合もあります。麻疹（はしか）に罹患したことがない人は、医療機関で抗体検査を行い、必要に応じてワクチン接種するなど予防措置を講じてください。過去にワクチン接種を一度しか受けてない人や接種後 10 年以上経過している人は、抗体がなくなっていることも考えられますので注意してください。
5. 学内でのコンピューター使用（自分のパソコンも含む）において、著作権侵害にあたる不正なダウンロードやソフトウェアのライセンス管理を無視した不正なインストール・コピーは絶対に行わないでください。これらは違法行為であり、巨額な損害賠償訴訟にも発展します。くれぐれも注意してください。また、スマートフォン使用者は、セキュリティー対策を十分に行ってください。
6. 物理学科では担任制をとっています。学生の皆さんの大学生活に関する悩みや問題について、担任が親身になって相談にのります。以下のようなことについて気軽に相談してください。

- 学業に関すること
- 将来に関すること

相談は随時受け付けます。また、原則として半年に一度、各セメスターの成績が出た後で、各担任が学生の皆さんと面接を行います。

2012 年度入学の皆さんの担任は皆さんの学年の進行とともに持ち上がり、研究室に配属になるまで担任を継続します。有効にこの担任制を活用してください。ただし、物理学科では、担任以外のどの先生も皆さんの相談にのりますので、遠慮なく研究室を訪ねてください。

2012 年度入学生の担任（卒業時まで同じ教員が担任である）

| | 名 前 | 居室番号 | 電話番号 | 電子メール |
|-----|-------|------|--------------|--------------------------|
| 担任 | 小栗 章 | 3167 | 06-6605-3148 | oguri@sci.osaka-cu.ac.jp |
| 副担任 | 有馬 正樹 | 3162 | 06-6605-2639 | arima@sci.osaka-cu.ac.jp |

物理学科 科目履修の手引き (2012年度入学者用)

物理学科の学生の、卒業に必要な科目の履修・単位修得に関しては、履修規程に書かれている通りであるが、特に物理学およびその関連科目の履修に当たっては次の事項に留意し、系統的で効率の良い科目履修を行うことが望まれる。

1. 履修科目

履修科目は、全学共通科目（総合教育，基礎教育，外国語，健康・スポーツ）と，専門教育科目に分けられる。そのうち，物理学およびその関連科目は，基礎教育科目の中では必修に指定してあるので履修が必要である。また，物理学科の専門教育科目には，必修専門科目，基本専門科目，選択専門科目，および教職専門科目がある。各専門教育科目の内容を記したシラバスをよく読んでおくこと。

<物理学科専門教育科目>

必修専門科目：物理学の根幹を成していて，必ず単位を修得しなければならない科目。

基本専門科目：基本的で重要であり，卒業するまでに履修が是非望まれる科目。

選択専門科目：4年次に提供される，物理学の各専門分野に関連する科目。

教職専門科目：中学校，高等学校の理科教員免許取得に必要な科目。なお，教員免許を取得する場合は，別に定める教職科目の単位修得が必要である。「理学部履修概要」の「XⅡ 教職課程履修概要」を参照のこと。

2. 2年次から3年次への進級条件

2年次から3年次へ進級するためには，総合教育科目 16 単位，外国語科目 10 単位，健康・スポーツ科目（実習 1 単位）の所定の単位数以上の修得をする外に，基礎教育科目（全学共通科目）と専門教育科目のうち，次の科目の単位を修得していなければならない。（）内の数字は単位数を示す。

(1) 基礎教育科目：

ア 1年次提供の必修科目 21 単位のうち，基礎物理学実験Ⅰを含む 17 単位以上。

<必修科目（21 単位）の内訳>：

基礎物理学Ⅰ（4），基礎物理学Ⅰ－A（2），基礎物理学Ⅱ（4），
基礎物理学実験Ⅰ（3），線形代数Ⅰ（2），線形代数Ⅱ（2），解析Ⅰ（2），解析Ⅱ（2）

イ 2年次提供の必修科目 13 単位のうち，基礎物理学実験Ⅱを含む 9 単位以上。

<必修科目（13 単位）の内訳>：

基礎物理学Ⅱ－A (2)，基礎物理学実験Ⅱ (3)，基礎物理学Ⅲ (2)，
基礎物理学Ⅳ (2)，解析Ⅲ (2)，解析Ⅳ (2)。

以上の計 **26 単位以上**を修得していること。

(2) 専門教育科目：

ア 1 年次に提供される**必修 2 科目 4 単位**。

<内訳>：物理学演習 1 (2)，物理学演習 2 (2)

イ 1, 2 年次に提供される下記の必修または基本科目 6 科目のうち、**いずれか 3 科目 6 単位以上**。

<内訳>：

現代物理学への招待 (2)，力学 1 (2)，力学 1 演習 (2)，力学 2 (2)，
物理数学 1 (2)，電磁気学とその演習 1 (2)

以上の計 **10 単位以上**を修得していること。

3. 卒業予定者としての認定条件

4 年生になり、諸種の書類、例えば就職や大学院受験のための卒業見込み証明書などで卒業予定者として認定されるためには、次の条件が必要である。

(1) 下に記されている 4 年生研究室配属条件をすべて満たしていること。

(2) 研究室に所属して特別実験・特別理論演習（いわゆる卒業研究）を履修していること。

<4 年生研究室配属条件>

(1) 全学共通科目：

ア 総合教育科目 **20 単位以上**，外国語科目 **12 単位以上**，健康・スポーツ科目（実技必修）**2 単位以上**。

イ 1, 2 年次で提供される必修基礎教育科目の**全て**（1 年次 **21 単位**，2 年次 **13 単位**）と，2 年次までに提供される，物理学以外の選択基礎教育科目 **4 単位以上**（実験科目 **2 単位以上**含む。教員免許状取得希望者に対しては，**4 単位以上**の外に別に定める教職専門科目の実験科目 **2 単位以上**を修得）。

(2) 専門教育科目：

ア 1, 2 年次で提供される必修専門科目の**全て**。（1 年次 **4 単位**，2 年次 **4 単位**）。

イ 3 年次で提供される，専門物理学実験を含む必修専門科目の合計が **18 単位以上**。

ウ 3 年次までに提供された基本専門科目の合計が **18 単位以上**。

さらに、各研究室に所属するためには、講座・研究分野別に指定された必要な科目の単位を修得していることが原則として必要である。

4. 卒業生としての認定条件

卒業に必要な総単位数：全学共通科目，専門教育科目について次の要件を満たして **140 単位以上**を修得すること。

- 1) 全学共通科目：次の①～④の要件を満たす **合計 76 単位以上**。

<内訳>

- ① 総合教育科目：24 単位以上
- ② 基礎教育科目：必修 34 単位と選択 4 単位以上（ただし、4 単位以上の中に選択基礎教育科目の実験科目 2 単位以上を含むか、4 単位以上の外に教職専門科目の物理学以外の実験科目 2 単位以上を修得）
- ③ 外国語科目：12 単位以上
- ④ 健康・スポーツ科学科目：2 単位以上（ただし、健康・スポーツ科学実習（必修）2 単位を含むこと）。

- 2) 専門教育科目：次の①～③の要件を満たす **合計 64 単位以上**。

<内訳>

- ① 必修専門科目：計 38 単位
- ② 基本専門科目：22 単位以上
- ③ 選択専門科目：4 単位以上

5. 教員免許状取得希望者に関する注意

「理学部履修概要」（2012 年度版 p 39～55 参照）

- 1) 教職課程実習を受けるものは、1 年次 10 月に行う全学教職課程ガイダンスに出席して教職課程の履修を登録しなければならない。
- 2) 教職課程実習を受けるものは、実習の前年度（学部 3 年生，M1）の 5 月に実施される「教育実習ガイダンス」に必ず参加すること（履修登録が必要）。参加しなかった場合、教育実習に参加することができない。やむを得ず欠席した場合は、ガイダンス実施後 1 週間以内に学生支援課教務担当に申し出て「教職課程実習ガイダンス補講」を受講すること。この際、追試験希望者に準じ、欠席の理由を示す医師の診断書等の適当な証明書が必要。
- 3) 教育実習を行う前年度までに、〈教職に関する科目〉の単位をある程度修得していなければならない（詳細は p43 の「教育実習を行う前年度までに修得しておくべき単位について」を参照）。計画的に履修すること。

- 4) 教職科目の「介護等体験」を受ける学生（中学校教諭の免許に必修，原則として2, 3年生時）は日程が重なる科目が出てくるので科目の履修の計画時に十分配慮すること。
- 5) 中学校教諭免許を受ける者は「道德教育の研究」（2単位）を必ず履修しなければならない。
- 6) 麻疹（はしか）に対する免疫を持っていない者は「教育実習」・「介護等体験」を受けられないことがある。実習の6週間以上前に抗体検査を受けて学生支援課に提出するなどの準備が必要な場合もあるので，掲示などには十分注意すること。
- 7) 生物学実験 SA・SB と地球学実験 SA・SB は，それぞれ生物学実験 S（集中，1単位），地球学実験 S（集中，1単位）に変更になった。

物理学科 基礎・専門教育科目 履修年次表

2012 年度入学者用

| | 1 年 生 | | 2 年 生 | | 3 年 生 | | 4 年 生 | | 総 計 単位数 | | | |
|----------|------------------------------------|------------------------------------|---------------------------|----------------------------|---|--------------------------------------|--------------------------------|--------------------|------------|--|--|--|
| | 前 期 | 後 期 | 前 期 | 後 期 | 前 期 | 後 期 | 前 期 | 後 期 | | | | |
| 必修基礎教育科目 | 基礎物理学Ⅰ 基礎物理学実験Ⅰ 解析Ⅰ 線形代数Ⅰ | 基礎物理学Ⅱ 基礎物理学Ⅰ-A 解析Ⅱ 線形代数Ⅱ | 基礎物理学Ⅲ 基礎物理学Ⅱ-A 解析Ⅲ | 基礎物理学Ⅳ 基礎物理学実験Ⅱ 解析Ⅳ | <注意> 基礎教育科目については、左表の他に 物理学以外の選択基礎教育科目 4 単位以上 ※を履修のこと（ただし、4 単位のうち 基礎教育科目の実験科目 2 単位以上含むか、教職専門科目の実験科目 2 単位以上 を履修すること）。従って必要な基礎教育科目最低単位数は 合計 38 単位 となる。 | | | | | | | |
| | 11 単位 | 10 単位 | 6 単位 | 7 単位 | | | | | | | | |
| 必修専門科目 | 物理学演習Ⅰ | 物理学演習Ⅱ | 力学Ⅰ 力学Ⅰ演習 | | 量子力学Ⅰ 量子力学Ⅰ演習 統計力学Ⅰ 統計力学Ⅰ演習 | 量子力学Ⅱ 量子力学Ⅱ演習 統計力学Ⅱ 統計力学Ⅱ演習 | 物理学購読（通年*） 特別実験・理論特別演習（通年*） | | | | | |
| | 2 単位 | 2 単位 | 4 単位 | | 11 単位 | 11 単位 | 8 単位 | | 38 | | | |
| 基本専門科目 | 現代物理学への招待 | | | 力学Ⅱ 物理数学Ⅰ 電磁気学とその演習Ⅰ | 現代物理学Ⅰ 物理数学Ⅱ 電磁気学とその演習Ⅱ 相対論 | 現代物理学Ⅱ 計算物理 | 量子力学Ⅲ 量子力学Ⅲ演習 | | | | | |
| | 2 単位 | | | 6 単位 | 10 単位 | 6 単位 | 4 単位 | | 28 | | | |
| 選択専門科目 | | | | | | | 素核宇宙物理学Ⅰ 物性物理学Ⅰ 統計解析 | 素核宇宙物理学Ⅱ 物性物理学Ⅱ | | | | |
| | | | | | | | 6 単位 | 4 単位 | 10 | | | |
| 総計 | 27 単位 | | 23 単位 | | 38 単位 | | 22 単位 | | 110+4※ | | | |
| | 50+4※ 単位 | | | | 60 単位 | | | | | | | |

(2011 年 4 月 1 日更新)

*通年科目の単位は、前・後期に等分して表示してある。

※印の 4 単位は、物理学以外の選択基礎教育科目の単位である。

物理学教室 講座教員所属表

| 講座名 | 研究分野 | 氏名 | 研究テーマ |
|----------------|---|--|--|
| 基礎物理学講座 | <ul style="list-style-type: none"> ○素粒子論 ○原子核理論 ○宇宙物理 ○数理論理 | 櫻木 弘之 石原 秀樹 糸山 浩 浜端 広充 安井 幸則 中尾 憲一 有馬 正樹 | 原子核反応理論，不安定核の構造と反応 相対論的宇宙物理学 紐の統一理論，可解系の場の量子論 プラズマ中の非線形磁気流体波と乱流 ゲージ理論および重力理論の数理 重力理論および宇宙論 クォーク模型とハドロン間相互作用 |
| 宇宙・高エネルギー物理学講座 | <ul style="list-style-type: none"> ○宇宙線物理学 ○高エネルギー物理学 ○宇宙・素粒子実験物理学 ○重力波実験物理学 | 神田 展行 林 嘉夫 清 矢良浩 寺本 吉輝 荻尾 彰一 山本 和弘 中野 英一 | 重力波観測実験，重力波宇宙物理学 γ 線源探索と一次宇宙線の化学組成の研究 ニュートリノ物理，陽子・反陽子衝突実験による素粒子の研究 素粒子実験物理，宇宙線観測 高エネルギー宇宙線観測実験，粒子線天文学 ニュートリノ物理，陽子・反陽子衝突実験による素粒子の研究 素粒子実験物理，宇宙線観測 |
| 物性物理学講座 | <ul style="list-style-type: none"> ○超低温物理学 ○光物性物理学 ○生体・構造物性物理学 ○素励起物理学 ○超伝導物理学 ○電子相関物理学 | 坪田 誠 橋本 秀樹 畑 徹 石川 修六 村田 恵三 小栗 章 矢野 英雄 鈴木 正人 杉崎 満 鐘本 勝一 小原 顕 西川 裕規 | 物性理論：量子液体および量子固体 光合成初期過程の機能解明および有機光機能材料の開拓 超低温物理：核磁性および量子液体 超低温物理：量子液体の相転移現象と量子渦 超伝導物理学：強相関電子系，特に有機超伝導体の物理を超高圧，強磁場，低温の極限環境で研究 物性理論：量子ドット系の近藤効果・強相関電子系 超低温物理：量子流体の相互作用と量子欠陥 物性理論：光誘起相転移とその動的過程，物質の階層性 時空間極限で観られる物理現象の解明 導電性ポリマーの光およびスピン物性 超低温物理：量子液体中の音波の伝達 物性理論：量子輸送現象，強相関電子系 |

基礎物理学講座

基礎物理学講座は、理論的研究を行っている以下の 4 つの研究分野で構成されています。なお、基礎物理学講座の各研究分野に配属される為には、「基礎物理学講座:研究分野別必要科目表」に記載されている科目を履修している事が必要ですので、注意して下さい。

素粒子論分野

<研究内容>

人類によるミクロ世界の認識は、物質→分子→原子→電子と原子核、原子核→ハドロン→クォーク、と進んできました。電子は、6種類確認されているレプトンと呼ばれるグループに属しています。また、クォークも6種類確認されています。そして、これらの素粒子の間に働く相互作用が素粒子論の重要な研究テーマとなっています。現在確認されている相互作用は、重力、電磁気力、弱い力、そして強い力の4種類です。本研究室では重力相互作用を研究の中心にすえ、宇宙論及び物質・輻射の重力崩壊によって形成されるブラックホールや時空特異点（高温、高密度、高圧力、そして強重力場を伴う領域）の研究を主に行っています。

例えば、宇宙初期にはインフレーションと呼ばれる急激な宇宙空間の膨張が起きたと考えられており、初期宇宙研究の中心的なテーマとなっています。このインフレーションの最中に現れる‘曲がった時空の量子効果’が、今日我々が目にして星や銀河といった宇宙の構造の源になっていると考えられています。したがって、宇宙の構造や2.7K背景輻射の揺らぎの観測によって、初期宇宙の量子論的な振る舞いを伺い知ることができるのです。現在計画段階にある‘重力波による初期宇宙の直接観測’が実現すれば、曲がった時空の量子効果に関するより直接的な観測データが得られるので、今後その理解がさらに深まると期待できます。時空特異点も重力の量子効果が重要な領域であり、その観測可能性は重力相互作用の研究に非常に大きな意味を持つため、本研究室の中心的なテーマの一つとなっています。

<講読と卒業研究>

当研究グループに所属した4回生は、物理学講読を履修し、更に特別理論演習（卒業研究）を行います。「講読」では、素粒子論の学習、研究に必要な理論的道具である「高等量子力学」や「相対性理論」、また宇宙論の理解に必要な「宇宙論的流体力学」等の中から適宜テーマを選び、教科書を使って輪読形式で勉強します。数人の学生諸君と担当教員が直接質問を出し合い、“肌”で接しあえる機会となる筈です。

特別理論演習では、やはり上で述べた「道具」の中から一つを選び、指導教員の下で、より深く掘り下げた理論研究を行います。小人数の学生と教員とが直接接するという意味で、上の「講読」と同様な特徴が当てはまります。

原子核理論分野

< 研究内容 >

「物質の究極」を知りたいという欲求、それはいわば人間の本能的なものです。そして私たちが研究している『原子核物理学』の出発点でもあります。

自然はその姿を人間の前に素直にさらけ出すことを拒むようです。日本の高エネルギー研究所をはじめとする世界の研究所では、優秀な人材とたくさんの費用を投じて「物質の究極」をかいま見するための努力がなされています。そして極小の空間を理解する手がかりを探し続けてきました。そこには多くの謎が潜んでいて、その解明は容易なことではありません。それはまるで人間の知性を挑発しているかのようです。

『原子核物理学』は量子力学と相対性理論を駆使して、この複雑に見えるできごとの背後に実は見事な調和が潜んでいることを明らかにしてきました。そしてクォークやグルーオンに始まり鉛などの重い原子核に及ぶさまざまな構成粒子たちが、基本的な力で互いに関連しあって「原子核の世界」を形作っていることがわかってきました。“今”われわれが目にするのできる極小の空間、すなわち「原子核の世界」はとても美しい「物質の究極」の姿です。この美しく謎めいた極小の空間を理解しようとする努力、これが『原子核物理学』です。

< 現在進行中の研究（典型的なものだけ書いておきます。） >

- ・ クォーク模型とバリオンの構造；バリオンと QCD の関係、そのさまざまな性質。
- ・ 中性子過剰核の構造と反応：中性子が陽子の 2 倍以上もある奇妙な原子核の世界。
- ・ 原子核の“虹散乱”：半透明な原子核の散乱で見える「マイクロの虹」と量子波動現象。
- ・ 原子核のクラスター構造と分子的共鳴：高励起原子核の奇妙なふるまい。

< 講読と卒業研究 >

量子力学は魅力的で難しい学問です。それを手中に収めて「物質の究極」に立ち向かわなければなりません。3 回生までの授業で、私達を支えている古典的な世界観と、極小の空間を支配する量子力学の一端を身につけていることでしょう。研究室に配属されると物理学講読 2 と卒業研究（特別理論演習）が履修科目となっています。まずは講読が基本です。原子核について書かれた英語の教科書を読み、そして理解することが最初の目標です。そのために量子力学の散乱問題に返ることも、電磁気学を復習することもあります。

後半になると皆さんが自発的な欲求をもつようになるはずですが、たとえば原子核反応の仕組が理解したい、基本的な立場から原子核やハドロンの構造を理解したい、とか。卒業研究ではそのような欲求を満たすために、原子核研究の最前線に触れることのできるようなテーマを選びそれを皆さんで研究、発表してもらいます。

宇宙物理分野

< 研究内容 >

宇宙を理解することは自然科学の重要な目的のひとつです。現在の宇宙には地球、太陽系から、銀河や銀河団、さらに、宇宙全体にわたるさまざまな大きさのスケールがあります。また時間的にも、宇宙の誕生から 100 億年近い宇宙年齢にいたる長い歴史があります。

我々は、惑星の運動や、地球上での様々な実験をもとに物理法則を構築し、それを駆使することによって、宇宙に対する理解を深めて来ました。

宇宙物理分野では、重力グループと流体・プラズマグループの 2 つのグループで、宇宙のさまざまな側面について研究をすすめています。

(重力グループ)

宇宙では、高エネルギー、高密度にかかわる物理現象が頻繁に起こります。そこでは、ニュートンの万有引力の法則が破綻するほど強い重力場が存在していると考えられています。このような状況は宇宙における現象でしか見ることができません。それゆえ、宇宙で起きる物理現象を研究することが、新しい物理学を開拓するひとつの原動力になります。基礎物理学講座の宇宙物理重力グループでは、強い重力場を伴う物理的現象を、アインシュタインの一般相対性理論を基礎として研究しています。

最近の具体的な研究テーマは、ブラックホール物理学、時空特異点、重力波の理論的な研究、相対論的宇宙モデル等です。

(流体・プラズマグループ)

宇宙の 99% 以上は、私たちが日常目にする固体、液体、気体とは異なる「物質の第 4 状態」である「プラズマ」と呼ばれる物質、すなわち原子が正電荷のイオンと負電荷の電子に電離した導電性の気体でできています。宇宙全体で見ると、大部分の物質はプラズマとして存在しています。宇宙のプラズマは、学問的にも広大な未開拓の分野です。

プラズマ中では、その独特の集団的性質から、ソリトン、カオス、乱流など、様々な非線形現象が起こりやすく、20 世紀後半に急激な発展を始めた非線形物理学の花形でもあります。我々の研究室では、非線形波動、粒子加速、不安定性、輸送など、プラズマの基礎的なテーマを研究しています。

< 講読と卒業研究 >

4 年生になって研究室に配属になると、物理学講読と卒業研究に当たる特別理論演習が履修科目となります。講読および卒業研究は 2 つのグループで独立して行います。

重力グループでは、一般相対性理論と宇宙論に関する基礎を輪講形式で学びます。後半で、4 年生個人の興味をもとにして研究テーマを選び、卒業論文を書いてもらいます。今までに、宇宙の距離と赤方偏移、球対称重力崩壊、ブラックホールのホーキング輻射、ブラックホール時空の因果構造と粒子の運動、時空の曲率などを卒論のテーマに選びました。

流体・プラズマグループでは、プラズマ物理学や流体物理学に関する英文の入門的教科書や論文を学習します。その結果を毎週講読の時間に発表することにより、専門分野に関する基本的知識を得るとともに、その方法を学びまた発表する能力を身につけます。卒業研究では、プラズマ物理学、流体物理学或いは数理物理学に関連する論文や専門書を学習し、その内容を発表してもらいます、また、必要に応じてパソコンを用いて数値計算を行います。

数理物理分野

<研究内容>

数理物理学という言葉は、素粒子物理学、原子核物理学などの言葉と違い確定した現象を対象とする言葉ではありません。実際、代表的な学術雑誌であるところの **PHYSICAL REVIEW** のインデックスには、**MATHEMATICAL PHYSICS** という言葉は見当たりません。むしろ、縦割りされている物理の各分野を貫く横系の役割を果たしていると言うべきでしょう。

本研究グループでは、主として高エネルギー物理、時には物性物理の文脈のなかで、純理論的問題を取り上げています。そしてそれがどのような形で論理的整合性を持って解決されて行くかと言うセットアップをとっています。ここ数年は、長足の発展を遂げた紐(ストリング)の統一理論を中心とした研究を行っています。

紐の理論では、我々の知っている電子やクォークなどの素粒子は、10 の 33 乗分の 1 センチメートル程度の大きさを持つ 1 つの紐の異なる振動状態と見なされます。この紐の振動モードには、必ず重力を司るスピン 2 の粒子グラビトンが含まれていることが知られています。従って粒子に対する通常の場合の理論と違い、紐の理論は必ず同時に重力理論ともなっていなければなりません。このように、紐の理論は大変理論的制約の強い理論です。その跳ね返りとして、例えば時空はスーパーstring の場合 10 次元でなければならないことが示せます。我々の棲んでいる世界は 3+1 次元なので、残りの 6 次元は誰も歩いて行けない程小さなサイズになっていなければなりません。ですが無視できるわけでは決してなく、我々が観測する素粒子をちゃんと作り出していなければなりません。このような研究を行うための基本的な道具は、超対称性と言うボソンとフェルミオンとを入れ換える対称性を持つ多様体上での幾何学となっています。

もう一つの問題として、紐の理論は現在のところ摂動論としてのみ与えられていると言う点があります。非摂動効果を含む完全な紐理論をどう構築すればいいのかについて、世界中の学者が頭を悩ませています。行列を用いた構成論的アプローチが有効であると考えられています。これは、最終的には数値計算を必要とする、極限操作を伴う無限自由度の代数と解析学の問題です。

<講読と卒業研究>

当研究グループに所属した 4 回生は、物理学講読を履修し、更に特別理論演習(卒業研究)を行います。物理学講読では、解析関数、微分形式、LIE 代数等の中から適宜テーマ、教科書を選んで輪講を行います。演習問題も、数多くやる機会があるでしょう。特別理論演習では、このテーマを更に掘下げ、素粒子物理、物性物理の文脈での簡単な研究を行います。

宇宙・高エネルギー物理学講座

宇宙線物理学分野

<研究概要>

高エネルギー宇宙線の大部分は超新星などで発生した後、銀河系の中を数百万年以上の旅をした後地球に到達します。この間に、超新星による衝撃波や星間空間の磁場などにより加速され、 $\sim 10^{15}\text{eV}$ 以上にも達すると考えられています。地球上で観測される高エネルギー一次宇宙線の殆どは陽子であり、その他にヘリウム、炭素、から鉄に至る元素が含まれています。その他に微量の高エネルギー電子や γ 線なども存在し、一方低エネルギーのニュートリノは宇宙を満たしています。これら一次宇宙線の起源、伝播、加速等については最近ようやく明らかになりつつあり、世界中で精力的に研究が行われています。しかし $\sim 10^{15}\text{eV}$ 以上の宇宙線についてはよく解っていません。特に銀河系外から到来していると思われる $\sim 10^{18}\text{eV}$ 以上の宇宙線に関しては、殆ど解っていないのが実情です。また、 10^{20}eV 以上のエネルギーを持つ宇宙線の強度は理論的な予測に合わず、宇宙線物理学において最もホットな研究テーマの一つとして注目を集めています。

高エネルギー一次宇宙線が大気中に突入すると、空気中にある窒素や酸素の原子核と衝突し、 π , K , 陽子, 中性子など様々な二次粒子を作り出し、それらが再び大気中で次々と衝突をくりかえし、鼠算的にその数を増し空気シャワーと呼ばれる現象を起こします。その中に含まれる電子やミュオンなどの数は数千万個にもなります。この空気シャワーの研究を通して、宇宙線の起源、加速、伝播などの謎に迫ります。このような宇宙線の研究は中性子星やブラックホール、AGN (活性銀河核) の活動などの宇宙物理学や天文学における諸問題、また銀河団や宇宙の大規模構造、インフレーション宇宙論、宇宙紐 (Cosmic Strings) などの宇宙論の研究などに対して大いに貢献しています。

<研究テーマ>

宇宙線物理学研究室では、上に述べた様な超高エネルギー宇宙線に関連した次の様な研究テーマで研究を行っています。

1. 一次宇宙線 ($10^{14}\sim 10^{16}\text{eV}$) の化学的組成 (核種) の観測 (宇宙線の起源, 加速, 伝播機構の研究)
2. 超新星残骸, 活性銀河核, ブラックホールなどからの高エネルギー γ 線 ($\sim 10^{13}\text{eV}$) の検出 (宇宙線の起源の研究)
3. 大規模太陽フレア現象における高エネルギー太陽宇宙線発生機構やその際に放射されるプラズマガスによる太陽圏磁場の変動などの観測 (宇宙線の起源の研究, 磁気嵐の予測)
4. 一次宇宙線 ($\sim 10^{11}\text{eV}$) の強度変化の観測による太陽系近傍の銀河系磁場構造の解明
5. 10^{18}eV 以上の銀河系外宇宙線の化学的組成の測定 (宇宙線の起源, 加速, 伝播機構の研究)
6. 最高エネルギー領域 ($\sim 10^{20}\text{eV}$ 以上) の銀河系外宇宙線の観測 (宇宙線の起源, 加速, 伝播機構の研究)

<研究方法>

現時点では1, 2, 3, 4に挙げた研究に関して、南インドのウーティ山上 (北緯11度, 海拔2200m) で大型の空気シャワー観測計画 (GRAPES-3) を遂行中です。そこでは世界最大級の大型ミュオン検出器 (総面積約560平方メートル) と 1m^2 のシンチレーション検出器 (~ 350 台) が稼働していて、第2期計画としてシンチレーション検出器730台からなる空気シャワー観測装置の完成を

目指して計画を進めています。ここでは空気シャワーの研究と同時に、ミューオンの強度の時間変化の精密観測を行い太陽活動や太陽風などの影響および太陽系近傍の銀河系磁場の研究を行っています。

アメリカ・ユタ州の砂漠に総面積約 800km²の 600 台の地上検出器(各 3m²)と 36 台の大気蛍光望遠鏡を使った観測を開始し、5, 6に関する研究を行っています。この研究は東京大学宇宙線研究所を中心に全国の大学が参加する国際共同研究「宇宙線望遠鏡計画」が科学研究費補助金の特定領域研究(総額 17 億円)として認められたもので、最高エネルギー領域(～10²⁰eV以上)の一次宇宙線の存在の検証をめざしています。我々の研究室では同計画で用いる地表検出器約 600 台の大型シンチレーション検出器の試作、開発、製作を担当しました。また、大気蛍光望遠鏡の建設にも大きな役割を果たしました。これらの研究テーマに一貫している目標は、一次宇宙線の起源、加速機構、伝播機構などの解明です。

1, 2, 3, 4, に関してはインド国立タタ基礎科学研究所との国際共同研究、5, 6, に関しては東京大学宇宙線研究所、山梨大学、東京工大、千葉大、神奈川大等との共同研究として行っています。

<講読と卒業研究>

講読は、宇宙線物理学の実験的研究に必要な基礎的知識について、主として原書を輪読形式で勉強します。具体的には、宇宙線物理学、宇宙物理学、天体物理学などを中心として最先端の知識とそれを理解するのに必要な基礎的知識の習得を図ります。

卒業研究は主として実際の空気シャワー観測に参加し、最先端の宇宙線観測に必要な、測定装置の原理、測定に際して必要な技術(放射線計測学の習得)、観測データの解析(コンピュータ技術とプログラミングの習得)、現象の理解(宇宙線物理学)などについて、具体的に体験しながら学んでいきます。具体的な内容としては、ハードウェア関連としては観測記録システムや測定装置と PC とのインターフェース装置などの開発、放射線計測器・デジタルやアナログの電子回路等々の開発・試作があります。ソフトウェア関連としては高速並列計算機システムによる空気シャワーのモンテカルロ・シミュレーション、PCによる空気シャワーのデータの統計的手法による解析などがあります。

卒業研究の具体的なテーマは指導教官と相談の上、先に述べた研究テーマやそれに関連した測定機器の開発・試作、シミュレーション計算などから選択できます。

高エネルギー物理学分野

<研究内容>

高エネルギー物理学とは、高エネルギー粒子加速器で作られた粒子が非常に短いドブロイ波長を持つことを利用して人間が探ることができる**究極の極微の世界**を調べる**素粒子実験**の学問分野です。もう少し具体的にいうと、どのような素粒子が存在するのか、また存在が確認されている素粒子の内部の構造やそれら素粒子がどのように作られ（生成）、壊れて（崩壊）行くのか等の機構を高度な実験手段を用いて精密に測定し、理論の検証をすることです。特に、理論に合わないこと（現象）を見つけられた場合は、大変興味深く、新発見として興奮することになります。また、これらの結果を用いると、我々の住む**大宇宙がビッグバンで誕生した瞬間からその行く末まで**かなりの部分が説明できたり、予言できたりします。これらの説明に用いられる理論も我々人間が作るもので、それらを使って良いか、はたまた理論の修正が必要であるのかは、すべて我々の**高エネルギー物理学の実験が決める**ことになります。

現在、我々のグループが行っている実験の主なものは二つあります。一つ目は、合衆国シカゴ郊外にあるフェルミ国立加速器研究所（通称 Fermilab）で行われている陽子・反陽子の衝突実験（CDF 実験）です。この実験の目的は素粒子物理学の標準理論として目下確立しつつある理論を精密に検証することと、標準理論で説明できないような未知の現象を探索する事です。1994年に新聞報道された**トップクォークの発見**も、この実験によってなされました。現在は、高統計、高精度な実験データの収集が継続されていて、これらのデータを用いた研究対象は、重いクォークの性質や、強い力および弱い力を媒介するゲージ粒子の性質、その質量測定、さらに超対称性粒子探索など多岐にわたっておりますが、特に既存の素粒子に質量を与える役目をする**ヒッグス粒子の探索**を主に行っています。

二つ目は、**ニュートリノ振動実験**です。この実験の目的は、ニュートリノという素粒子が質量を持っている場合に起こる振動現象を用いてニュートリノの性質を詳しく調べる事です。ニュートリノは古くから質量ゼロと思われてきましたが、近年、微小ながら質量を持っていることがわかってきました。その場合、種類の異なるニュートリノが時間とともに互いに入れ替わる現象、ニュートリノ振動、が起きます。我々は、加速器で生成したニュートリノを、約 300 km 離れたところにある有名なスーパーカミオカンデに向けて照射し、スーパーカミオカンデで検出することによって、この振動現象を調べています。

<講読と卒業研究>

4回生の講読は**素粒子物理学**に関する英文の入門書や、**素粒子実験の方法**（加速器、検出器および統計学）に関する教科書を輪読形式で勉強します。これらの内容は素粒子の相互作用、保存則と対称性、クォーク模型など、素粒子物理学の基礎となる概念を学ぶとともに、粒子加速器や様々な測定器の原理など、素粒子実験の方法に関する基礎を習得します。

卒業研究は、それぞれの実験の進行状況により、測定器開発・建設などのハードウェアに重きがある場合と物理解析に重きがある場合とが考えられます。しかし、いずれにしても、荷電粒子検出器の原理や計算機シミュレーション、データ解析、さらにそのためのソフトウェア開発など、多岐にわたる課題の中からテーマを選び、常に**時代の最先端技術**を取り入れながら行います。

宇宙・素粒子実験物理学分野

<研究内容>

素粒子物理学は、古代ギリシャの自然哲学以来の人類による物質の根源の探究を極微の世界まで微小な方向に追及する学問である。一方、宇宙物理学はこれとはまったく反対方向に追及する学問である。しかし、この2つには非常に深いつながりがある。宇宙・素粒子実験物理学研究室では、これら自然の最も根源を探究する学問である、素粒子実験物理、宇宙線物理、および、そのための実験装置である素粒子検出器、の3つをテーマに研究を行っている。

素粒子実験物理としては、筑波研究学園都市にある高エネルギー加速器研究機構の素粒子原子核研究所のBファクトリーを用いて、現在発見されている中間子の中で最も質量の高い準安定粒子であるB中間子の研究を主に行っている。特に、中性B中間子の崩壊における量子力学的干渉現象を用いて、弱い相互作用での「粒子・反粒子」対称性の破れの測定を国際共同実験として行っている。この実験のデータ収集は2010年に終了し、現在データの解析を行っている。その中で、現在の理論では説明できない現象の兆候が見えている。この現象を解明するため、より性能をあげて測定するための新しい装置の建設準備を現在進めている。これが完成すれば、超対称性粒子など理論で予言されているがまだ見つかっていない粒子を発見できる可能性がある。

宇宙線物理としては、インターネットを用いて広い範囲に時間相関を持って宇宙から到来する宇宙線の観測を行っている。宇宙線の観測装置を本学理学部、大阪市立科学館（4階で展示）、金岡高校、大手前高校、樟蔭高校などに設置し、都道府県にまたがった規模で同時に到来する宇宙線を観測するネットワークを構築し、長期観測をしている。

素粒子検出器の研究開発としては、主に2種類の検出器の研究を行っている。1つめは、高抵抗板検出器の研究である。高抵抗板検出器は簡単な構造で高い位置測定能力と時間測定能力を同時に持つ検出器で、日本では我々のグループが最初に開発に成功した。2つめは、ガス電子増倍器の研究である。ガス電子増倍器は、高精度の位置測定能力があり、放射線量が高い環境でも使える。研究室では、高エネルギー加速器研究機構や近畿大学と共同で、この検出器の研究・開発を進めている。一般に、素粒子検出器は、素粒子や宇宙線の実験だけではなく、PET、CT、MRIなど医療機器にも広く応用されている。なお余談であるが、インターネットで用いられているWWW(ホームページ)は素粒子実験物理学の研究から生まれた技術である。

<講読と卒業研究>

4回生の講読では、前期に素粒子物理学の入門書（日本語）を、後期に宇宙物理学の入門書（英語）を、それぞれ輪講形式で読む。また、4回生を対象に、高抵抗板検出器の製作と測定の実習を行っている。さらに、計算機の使い方とプログラミングの実習も行っている。卒業研究は、素粒子や宇宙線検出器の研究開発を主に行う。具体的には、実験装置自体の研究開発、回路の製作、オンライン・データ収集、計算機のプログラミング、物理解析やシミュレーションなどである。4回生での研究成果は、卒業時に論文（レポート）にまとめ、大講座全体の発表会で発表する。

日常の活動としては、毎週1回のミーティングで、教員や大学院生と共に研究経過を発表し、それについて議論をする。また、ミーティングの後には、論文紹介（コロキウム）も行っている。これらを通して、宇宙・素粒子実験物理学の基礎と実験科学の研究手法を学ぶ。

重力波実験物理学分野

<研究内容>

重力は人類がもっとも最初に知った基本的相互作用であるが、その結合定数の弱さや遮蔽ができないといった性質のために、いまだに多くの研究課題を残している。アインシュタインの一般相対性理論以降数多くの重力理論が提唱されたが、ことごとく実験・観測によって否定され、現在、実験結果と矛盾しないのは一般相対論と他1つしかない。重力波は一般相対論の予言する、時空の歪みが波として伝わる現象である。これを直接に測定することによって、強い重力場における一般相対論の検証、重力波を放出する天体についての質量、距離あるいは構造といった情報を得ること - つまり重力波天文学／天体物理学 - などが可能である。それでも地球にとどく重力波が微弱なため、その検出は、極限の感度の装置によるチャレンジである。

現在我々は、2010年から建設開始した LCGT (大型低温重力波望遠鏡) を中心に、重力波検出実験を研究している。LCGT は、岐阜県神岡鉱山内に建設中の基線長 3km の2つの光路を L 路型に配置したレーザー干渉計であり、静謐な地下環境と低温鏡で高感度を目指す装置である。研究は、東大宇宙線研をホストとする共同研究として推進中である。検出の目標とされる重力波はコンパクトかつ大質量の天体起源のもので、超新星爆発、中性子星やブラックホール連星の合体、ブラックホールの準固有振動などである。これらにより放射される時空の微小な歪みが、重力波として伝搬する。LCGT は光の干渉によって時空の歪みを直接に測定する。中性子星連星やブラックホール連星の合体による重力波について、LCGT は実に7億光年先まで検出することが可能である。

我々大阪市大の重力波研は、特にデータの取得系と解析を担っている。また本格運転にはいると海外の検出器 (米国 LIGO 実験、欧州の Virgo 実験) などとの共同解析も必要となり、それらの準備も進行中である。

一方で、近年スペースクラフトを用いた重力波検出実験が提唱されており、日本の DECIGO 計画においてデータ処理や重力波探索の基礎研究も行っている。

また本学の実験室において、小型のレーザー干渉計をつかった制御などの基礎実験もある。

<講読と卒業研究>

4 回生の講読は、重力波源や重力波検出器の原理についての論文 (英文) を輪講形式で読む。また一般相対性理論についての基礎知識についての学習も行う。

卒業研究では、LCGT での重力波イベントのシミュレーションや、データ解析についての研究をおこなう。プロトタイプとなる検出器のデータを実際に扱う場合もある。そのために計算機を用いた測定・プログラミング技術の習得、物理解析やシミュレーション、統計手法の基礎を取得する。また重力波検出器の研究開発の一端を担い、テーブルトップの実験でサーボ制御、感度校正や雑音についての理解を深める。

4 回生卒業時には、卒業研究をまとめて発表会を行う。また、毎週 1 回のミーティングでは、教員や大学院生と共に研究経過を報告して議論をする。

重力波の検出実験は今日大型化しており、細部全てを取得するのは院生や教員にとっても難しい。我々のグループでは、特に重力波事象を探索することに重点を置いており、重力波検出実験のいかなる部分を主たる研究テーマにする場合でも、最終的な「重力波の物理」を念頭においた内容を取り上げる。

物性物理学講座

「物性物理学とは」

物性物理学は、一個の大きさが、オングストローム (10^{-10}m) スケールの原子や分子の構成要素が、 $\sim 10^{23}$ 個という膨大な個数集まり、人間のスケール (1 m程度) に凝集した物質系を研究対象としています。このような体系は、巨視的体系 (マクロな体系) と呼ばれています。巨視的体系では、個々の原子や分子の世界を支配している法則だけではとらえきれない、多彩な物理現象が観測されます。物性物理学は、このような物理現象の中から、巨視的体系に固有な基本法則、基本概念を探求する学問分野です。ここで得られた成果は、私たちの自然認識に多大な影響を与え、新しい物理学的概念の形成に寄与してきました。また、その成果の応用は、現代のハイテクノロジーの基盤を与え、私たちの生活に大きな影響を与えています。

物性物理学の研究対象は、私たちの身の周りにあるごくありふれた、鉄や銅、金や銀等の金属、ゲルマニウム、シリコン等の半導体から、ヘリウムなどの不活性ガスに至るまでの単元素物質から、水や氷、ガリウムヒ素に代表される化合物半導体、有機物質、生体物質にいたるまで、途方もなく広大です。またこれらの物質は、例えば、超低温における超伝導や超流動の発現など、置かれた環境によって様々な姿をとります。その有様を、環境を制御することによって調べることが、物性物理学の主な研究課題となります。

物質系は、光 (電磁波)、電場、磁場、圧力などによる外部からの働き掛けに対して、様々な応答を示します。物性物理学のもう一つの大きな研究課題は、これらの応答を掘りどころにして、物質の構造や、物質内部でおこるエネルギー変換、緩和現象、非線形現象などを調べることです。

そのなかで、私たちの「物性物理学講座」では、主に、**超低温物理学、光物性物理学、素励起物理学、生体・構造物性物理学、超伝導物理学、電子相関物理学**などの分野の実験的、理論的研究が行なわれております。以下では、私たちの取り組んでいるこれらの分野の研究をごく簡単に紹介したいと思います。

<研究分野>

私たちはおよそ 300K(室温) の温度領域で生活していますが、自然界の最低温度は宇宙の熱放射の現在の温度で決まります。それは、およそ 3Kです。もっと温度を低くして、自然がかつて体験したことのないような超低温では、自然はどのように振る舞うのでしょうか。この疑問を解き明かす目的で、室温の 10^{-5} 以下の温度の世界を人為的に作り超低温の世界の研究をおこなっております。

超低温の世界で起こる最も顕著な現象の一つは、原子スケールの世界を支配している量子力学的現象が、人間のスケールで発現することです。その結果、 $\sim 10^{23}$ 個の構成粒子の集団が、いったん流れ始めると抵抗を受けることなく流れ続けるという現象が起こります。構成粒子が電荷を持つ電子のときには、流れは電流をとめない、超伝導と呼ばれる現象が、また電氣的に中性なHe原子の集団では、超流動と呼ばれる類似の現象がこれに当たります。このように量子力学的機構で流れが保たれる体系は量子流体と呼ばれます。量子流体中では、量子渦と呼ばれる特殊な渦が重要な役目を担うことも知られています。さらに一定の条件下では、この流体は量子固体と呼ばれる状態をとります。量子固体では、普通の固体とは異なり、構成粒子の量子的揺らぎが体系の性質を支配します。私たちの講座では、このような量子液体、量子固体についての研究を行っております。

超低温の世界では、物質系はエネルギー的に一番低い状態(基底状態)をとり、さまざまな物理現象は主に基底状態の物理的性質を反映します。一方、私たちが物質系に外部から働きかけて、その応答を知ろうとするときには、物質系のエネルギーの高い状態(励起状態)が重要な役割を担うこととなります。物質系への働きかけの最も重要なものの一つが、光を用いる方法です。物質系に光を照射したとき、物質系は、光を反射したり、吸収したりします。また、ときには光による刺激を受けると発光したりします。このような現象は、量子力学に基づく光と物質系との相互作用を通して、光のエネルギーが物質系のエネルギーに変換され、物質系が励起状態へ移行したり、逆に物質系のエネルギーが光に変換されて、物質系が励起状態から基底状態へ逆戻りしたりすることによって起こります。光物性物理学は、このような光と物質系との相互作用を通して、物質系の励起状態が関与するさまざまな物理現象を研究の対象にします。私たちの講座では、絶縁体、半導体、光機能性有機分子および高分子等の励起状態についての研究を進めております。

これらの物質中に光で作られた励起状態は、およそ 10^{-15} 秒 $\sim 10^{-9}$ 秒の時間で異った励起状態へ移行したり(ダイナミックス)、体系を取り巻く環境に適した熱平衡状態へと移行(緩和現象)していきます。従ってその変化の様子を知ろうとすると、時間的に大変短い光のパルスを用いる必向性をもつ光が必要な場合があります。そのため、光物性の研究では自然界には存在しない、人工的につくられた光であるレーザー光が盛んに用いられます。私たちの講座でも超短時間パルスレーザーを用いた励起状態でのダイナミックスや、緩和現象の研究を行っております。

巨視的体系の構成粒子はお互いに強い相互作用を持っているために、励起状態では多粒子系が連動した集団運動と呼ばれる運動状態をとることが多く、それは、丁度お互いにバネでつながった振動子が、相互に一定の関係を持ちながら波動として運動している状態と同様な形をとります。このような集団運動は量子力学的には、“素励起”と呼ばれるエネルギー量子で記述されます。物質中を伝播する音波も、このような集団運動の一つです。上で述べたような絶縁体や半導体に光を照射したときの物質系の励起状態もこのような素励起で記述されます。また、超低温で実現される超伝導や超流動が壊れるときに重要な役割を果たすのも素励起です。物質系の励起状態をこのような集団運動の立場からとらえ、外部からの働きかけに対する巨視的体系の応答の機構を明らかにしようとするのが素励起物理学です。私たちの講座では、特に、極低温における超流動液体ヘリウムや、中性原子気体ボース・アインシュタイン凝縮と呼ばれる特異な状態とその素励起について理論的に調べています。

生命現象（特に植物の光合成反応）を物性物理の言葉で語ることに、これが私たちの提唱する「生体物性物理学」の究極目標です。生命は39億年という長い年月におよぶ進化によって、光合成系という地球環境に優しくしかも光エネルギーを最適に利用し得る構造を獲得しました。例えば太陽光を上手く受け止める光捕集アンテナ色素蛋白複合体は非常に美しい9回対称の超分子複合体構造を持ちます。その構造が有する光エネルギー捕獲・伝達機能を解明することが次世代テクノロジー（バイオナノテクノロジー）を開花させるために必要不可欠です。私たちの講座では光合成初期過程に重要な役割を果たすカロテノイド色素分子に注目して研究を行っております。カロテノイド色素分子を系統的に改変・光合成系に再構成し、X線結晶構造解析等から色素蛋白複合体の電子分布・分子構造を詳細に決定すると同時に、光エネルギー伝達機構および分子間相互作用機構を種々の物性測定を駆使して解明する研究を行っております。自然界には存在しない人工の光合成色素蛋白超分子複合体を自らの手で創成し、光合成系の動作機構を解明することを通して、物性物理学の言葉で生命の青写真（自然の持つ巧妙さ）を解釈することを目的としております。

光エネルギー変換過程において従来の概念を打破した基礎概念の構築、高効率・超高速のエネルギー移動機構の基盤となる理論を確立、そしてまったく新しい物性物理を創出することを目指して日々研究しています。このような洗練された超分子複合体構造を持つ系をより深く理解するため、私たちの講座ではより単純な系（有機分子薄膜、バルク結晶）を用いて、分子構造と物質の持つ光機能性との関係を解明するための物性研究も行っています。その一例としてテラヘルツ電磁波発生機構を解明する研究を行っています。人類はさまざまな周波数領域の光を、通信・分光分析・医療に活用しています。しかし、テラヘルツ帯域の遠赤外光は発生効率・受光効率の低さからまだ実用化されていない人跡未踏の周波数帯域の光です。その周波数領域を開拓することは新しい科学技術・物性物理分野の創出に繋がります。私たちの講座では、有機分子の構造を独自の設計指針のもとに系統的に改変させその薄膜およびバルク結晶を作成し、これらを用いて発生したコヒーレント・パルステラヘルツ電磁波の発生機構を解明する研究を行っています。この研究によって有機光機能材料を用いた大出力テラヘルツ電磁波発生の基盤概念・基盤技術の創出を目指しています。

さらに、私たちの周りには多様な物質系が、どのようにしてつくられ、どうして今あるように存在できるのでしょうか。スキー場で手袋についた雪を何となく見たとき、雪の一つ一つが、素晴らしい幾何学的構造をしているのに驚いた経験を持っている人もいます。私たちの周りには、このような物質系がたくさんあります。どのようなメカニズムで、自然はこのような美しい構造をつくるのでしょうか。この謎を解き明かそうという、物質の存在そのものに関する課題についての研究も進めております。具体的には、物質の巨視的な”形の多様性”を理解するためには、原子・分子が取り込まれる物質表面の原子配列と成長の素過程を知ることが重要です。そこで、表面構造および温度・圧力変化に伴う構造相転移を様々な方法を駆使して原子スケールで調べ、種々の成長素過程を経て物質が形づくられるメカニズムを追及しています。

電荷をもった超流動は超伝導と上述しましたが、電子の集団がイオンの格子の中を全く摩擦なく、従ってエネルギー損失なく、永久にすり抜けて流れる現象が超伝導です。実際に輪状の超伝導体では永久に流れ続けます。簡単な量子論によれば電子は波動性があるのでイオンのポテンシャルが完全な周期的ならあり得ないことではないのですが、有限温度では完全な周期性はあり得ないのです。もう少し高度な量子論が必要になります。それによれば超伝導は低温であることが必要になります。それを何とか高温にできたら物理学、応用の両面で計り知れない発展となります。その候補になるのが有機伝導体です。事実超伝導は有機物で発見されています。この研究の過程で有機伝導体には超伝導という電子相のほかに金属相（良導体）、電荷密度波相（絶縁体）、スピン密度波相（絶縁体）、電荷秩序相（個体の中で電荷に皺が寄る）、反強磁性相など、極めて多彩な電子相が存在することがわかり固体物理を網羅しそうな勢いです。そしてこれらの諸相が多くの場合、一つの物質で実現するのです。電気を全く通さない絶縁体から無限に通す超伝導体へと、ひとり何役も早変わりということが実現する世界です。最近では質量のないようにふるまうニュートリノのような電子に関心が集まっています。

これらを実現するには、働きかけの工夫も重要です。超高圧、強磁場、低温を組み合わせる実験を行っています。8万気圧、14Tesla（地磁気の30万倍）、希釈冷凍機温度までが研究室の守備範囲ですが、これらを超えるには一気に工場のような設備が必要になります。時々、このもうひとつの踏ん張りのために、国内や米国の巨大な施設に実験に出かけます。

凝縮物質系の物理学において、固体中の電子系は、基礎および応用の両面から長く研究されてきた分野です。半導体や金属の微細加工やナノ・スケールにおける技術の進歩が、以前には困難であった状況での観測を可能にし、それが凝縮系の量子状態に関する新たな法則性の発見につながり、基礎研究はさらなる発展を続けています。固体の性質のうち、例えば金属の光沢や電気伝導、磁性などの性質は主に電子系によって決まっています。これらの性質は、微視的には電子がフェルミ統計に従い、固体中ではアボガドロ数ほどの数の電子が互いにクーロン斥力を及ぼし合っていること等から説明されるはずですが、このような多電子系における相互作用に起因する効果は、“電子相関”と呼ばれます。私たちの講座では、場の理論的な解析的手法、およびコンピュータを用いた数値的アプローチから、電子相関の強い系の理論研究を進めています。特に、半導体やカーボン・ナノチューブ等で作成された量子ドット系の近藤効果に関する研究を行っています。量子ドット系では、電子の量子力学的な波動性による干渉効果と、粒子性が反映される電子相関の両方が、電気伝導性に顕著に現れます。また、量子ドットと超伝導体との接合系で見られる超伝導位相と磁性、トンネル効果などが互に関連した現象も、私たちの研究対象のひとつです。

<物性物理学講座での講読と卒業研究>

4回生に進級し、各講座に配属されると、物理学講読と卒業研究が履修科目となります。4回生は、それぞれの分野のいくつかのグループに分かれ、これらの科目を履修することになります。物理学講読では、それぞれの分野の基礎的な教科書と論文を、輪読形式で学びます。卒業研究では、研究課題に関連する基礎的な実験技術、あるいは基礎的な理論を学ぶと同時に、各人に独立して与えられた研究課題に取り組み、研究の面白さやつらさを経験してもらいます。学年の最後には、卒業研究で得られた成果を発表会で報告してもらい、これからの研究の進展についての討論の場を持ちます。

4年生での研究室配属について

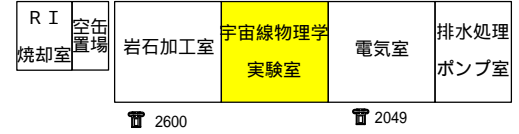
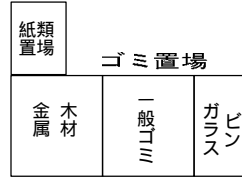
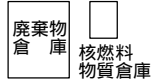
次のページに記す表は、皆さんが3年生を修了して4年生になり、卒業研究をするために各研究室に配属される時の、講座・研究分野ごとの条件を示したものです。ある研究室を希望するのであれば、表に記された科目を履修していることが必要かあるいは強く要求されます。条件の優先度や、必要条件か加点式に評価するかなどは常に検討がなされます。したがって、あくまで参考資料と
考えてください。

研究室への配属にあたっては、4年生への進級条件はいうまでもなく、現在のところ、研究室ごとに示した科目の成績を判断基準とする予定です。自分の希望する研究室へ配属されるには、その研究室の内容に必要な分野の素養を身につけているかが重要になります。条件としてあげられた科目をよく学んだ人が、配属において有利になります。希望する講座・研究分野の条件を満たさない場合、そこで研究するのは望ましくありません。また、希望する特定の研究室の条件を満たしていても、収容定員の関係で溢れる可能性があります。その場合には条件としてあげた科目の成績を指標にして配属を行います。条件の科目の成績によっては希望の研究室と違うところに配属を変わってもらうことになります。

もちろん、特定の科目のみに固執しては、配属の選択肢もせまくなり、最終的に自分の希望順位の低い研究室になってしまうこともあります。これらの条件を勘案しつつも、物理学科が提供する全ての専門科目を学ぶことを通して、広い視野に立ったモノの見方ができるように訓練することを薦めます。

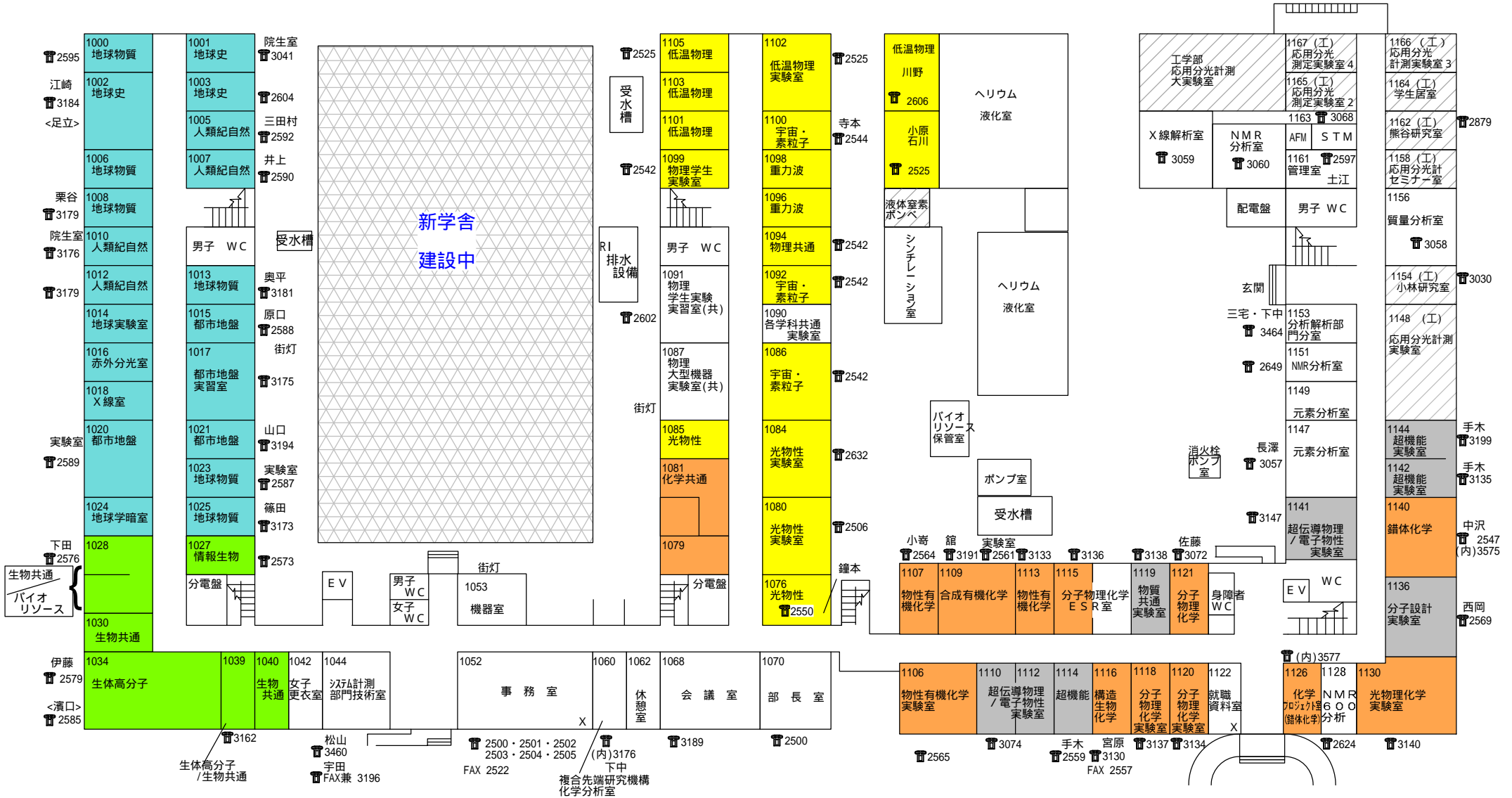
講座・研究分野別必要・推薦科目表 (参考資料)

| 講座名 | 研究分野 | 必要・推薦科目名 | |
|----------------|-------------|--|--|
| 基礎物理学講座 | 素粒子論 | 量子力学 1, 量子力学 2, 相対論, および, 以下の 2 科目の中から 1 科目以上 量子力学 1 演習, 量子力学 2 演習 | |
| | 原子核理論 | 量子力学 1, 量子力学 1 演習, 量子力学 2, 量子力学 2 演習, 以上 4 科目の中から 3 科目以上 | |
| | 宇宙物理 | 重力分野 | 量子力学 1, 量子力学 2, 相対論, および, 以下の 2 科目の中から 1 科目以上 量子力学 1 演習, 量子力学 2 演習 |
| | | 流体・プラズマ分野 | 力学 2, 電磁気学とその演習 1, 電磁気学とその演習 2 |
| | 数理物理 | 量子力学 1, 量子力学 2, 相対論, および, 以下の 2 科目の中から 1 科目以上 量子力学 1 演習, 量子力学 2 演習 | |
| 宇宙・高エネルギー物理学講座 | 宇宙線物理学 | 相対論, 物理実験学を履修していることが望ましい。 | |
| | 高エネルギー物理学 | 量子力学 1, 量子力学 2, 相対論を履修していることが望ましい。 | |
| | 宇宙・素粒子実験物理学 | 相対論, 物理実験学を履修していることが望ましい。 | |
| | 重力波実験物理学 | 相対論は取得必須。物理実験学を履修していることが望ましい。 | |
| 物性物理学講座 | 超低温物理学 | 量子力学 1, 量子力学 2, 統計力学 1, 統計力学 2, 以上 4 科目の中から 3 科目以上 | |
| | 光物性物理学 | | |
| | 生体・構造物性物理学 | | |
| | 素励起物理学 | | |
| | 超伝導物理学 | | |
| | 電子相関物理学 | | |

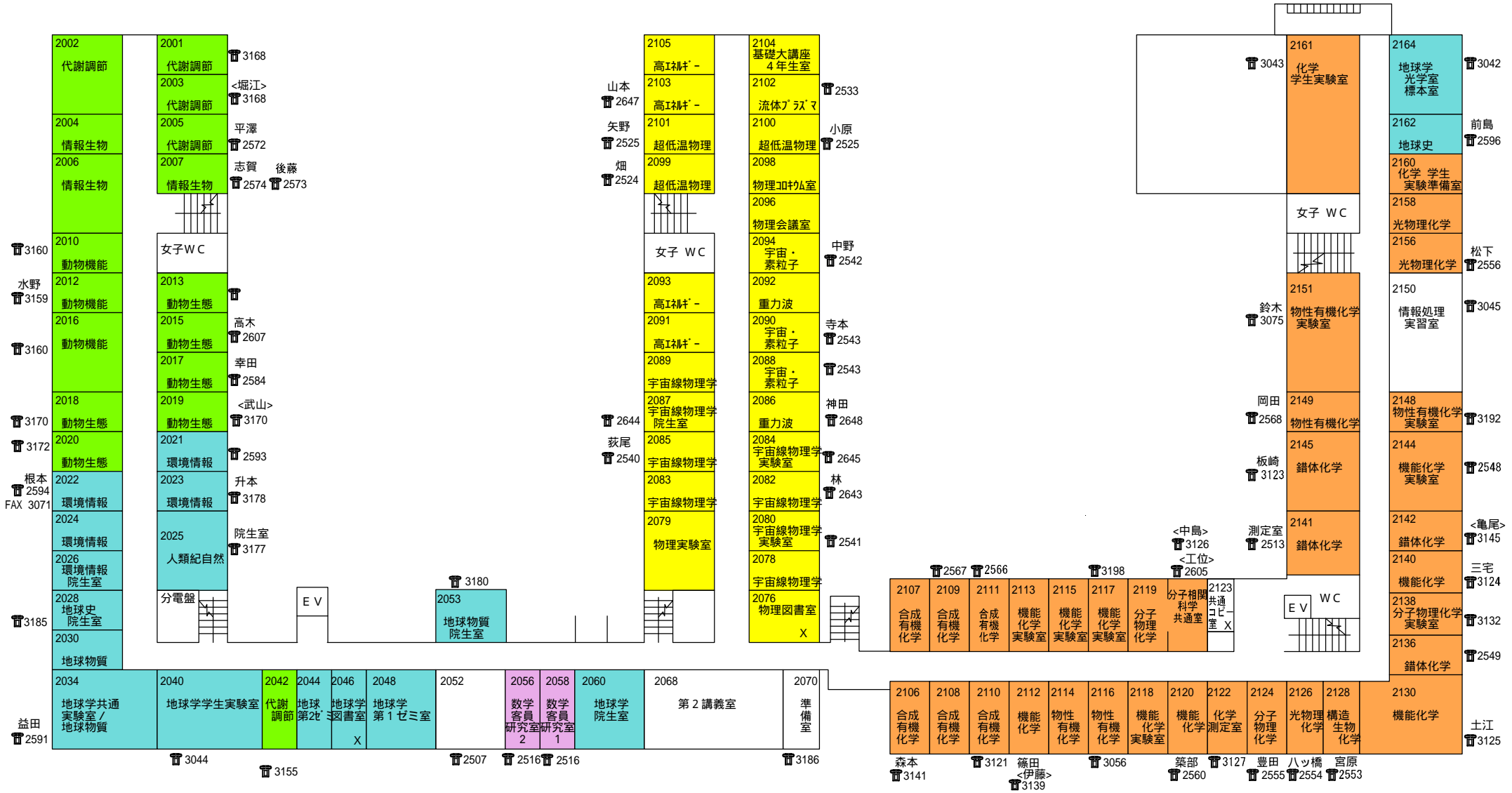


理学部校舎 (本館・新館・新々館) 1階

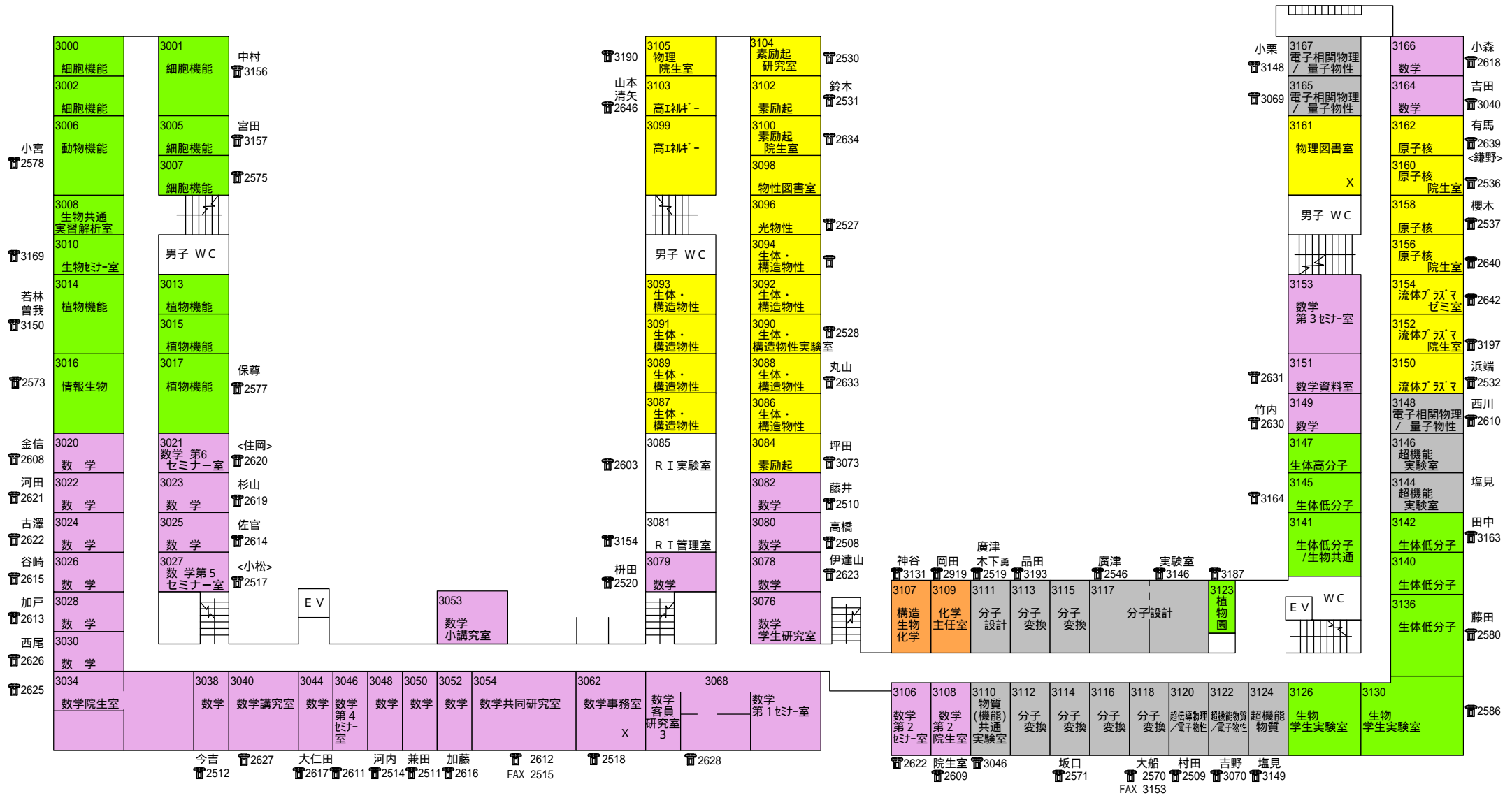
2011/ 6/ 17



理学部校舎 (本館・新館・新々館) 2階



理学部学舎 (本館・新館・新々館) 3階



理学部校舎（本館・新館・新々館） 4階

