

JPhO News Letter

Japan Physics Olympiad

No. 20 2018年3月

CONTENTS

- 02 第1チャレンジへ挑戦
- 03 全国大会(第2チャレンジ)と異文化交流
- 04 「どうなっているの?」で世界に羽ばたこう!
- 05 サポーター便り — TDK 歴史みらい館の社会連携活動
- 06 国際物理オリンピック2022協会 始動
- 07 物理チャレンジ OP たちは今 — 数学をしています!
- 08 物理チャレンジ OP の博士論文

参加の流れ

参加申込み

参加手続きは、3月下旬からホームページまたは募集要項で案内します。参加申込み受付期間は、以下の通りです。

郵送：2018年4月1日(日)～5月21日(月)
WEB：2018年4月1日(日)～5月31日(木)
参加費：2,000円

第1チャレンジ

「実験課題レポート」と「理論問題コンテスト」にチャレンジします。

- 実験課題レポート(2018年6月15日(金) 提出締切 消印有効)実験課題公開中!
- 理論問題コンテスト(2018年7月8日(日) 全国一斉 90分間)約80会場

※理論問題コンテストの会場については、4月から公開される科学オリンピック共通事務局のホームページまたは募集要項に掲載される、会場一覧から選択してください。

第2チャレンジ

第1チャレンジの「実験課題レポート」と「理論問題コンテスト」の総合結果によって選抜された約100名が、理論問題と実験問題にチャレンジします。

会期：2018年8月19日(日)～8月22日(水) 3泊4日

開催地：国立オリンピック記念青少年総合センター(東京都渋谷区)

内容：理論問題及び実験問題コンテスト(各5時間)、交流イベントなど

表彰：金賞(6名)、銀賞(12名)、銅賞(12名)及び優良賞(約20名)等。

国際物理オリンピック 日本代表候補者

物理チャレンジ2018成績優秀者の中から2019年にイスラエルで開催される第50回国際物理オリンピック日本代表候補者を選出します。



みなさんのチャレンジを期待します～第1チャレンジへ挑戦～



第1チャレンジ部会長
電気通信大学 鈴木 勝

2018年の物理チャレンジが始まります

このNews Letterを読む頃は、そろそろ新学期も始まり、新しい勉強をスタートしている頃でしょう。ここでは、ちょっと視点を変えて物理の勉強を始めて見ましょう。

みなさんは『理科年表』を見たことがありますか。『理科年表』のページをめくると暦・天文から物理や生物まで多くの図表があり、沢山の数字が並んでいます。今回は数字の並びでないところを調べます。『理科年表』付録の「ノーベル賞受賞者・受賞理由」を開きましょう。たとえば100年前の1918年の物理の項目に「M. K. E. L. プランク (独), エネルギー量子の発見」と書かれています。

この項目から、プランクとはどんな人かなと調べるのも面白いでしょう。高等学校の教科書『物理』の索引を見るとプランク定数という項目があります。光のエネルギーは一塊として吸収や放出されるのですが、そのエネルギーの単位が $h\nu$ (振動数 ν) と表されるのでした。ここに表れる定数 h がプランク定数です。このことをはじめて指摘したのがプランクで、そのエネルギーの一塊がエネルギー量子です。ところでプランクがこの考えを発表したのが1900年、その後、アインシュタインが光には粒子の性質があると発表したのが1905年です。ノーベル賞はプランクの発表からなんと18年も後になります。そして面白いことに1916年には受賞者はありません。今回はノーベル賞をスタート点としました。物理の勉強も視点を変えてみると新しい発見があるかもしれません。

いよいよ2018年の物理チャレンジが始まります。学校の勉強から少し視点を変えて物理チャレンジを楽しみませんか。

今年の実験課題では「輪ゴム」を調べます

輪ゴムを引く力と伸びの関係を調べてみよう

フックの法則が成り立つか、引く力を増やしていくときと減らしていくときの違いに着目して実験してください。実験方法や条件を変えるなど、様々な取り組みを期待しています。

物理チャレンジのスタートは、第1チャレンジの実験課題に挑戦し、実験レポートの提出です。今年の実験課題は上に示した「輪ゴム」の実験です。

輪ゴムは身近な材料ですね。手元に輪ゴムはありませんか。ぎゅっと引っ張ってみてください。2倍や3倍の長さまで簡単に伸びます。身近な材料でこんな簡単に伸びる材料はありません。実験することで面白いことが沢山見つかるのではない

かと思います。

ところで、どのような実験レポートが高評価となるのでしょうか。物理チャレンジのWebやポスターには、評価するときの主な観点として

- 分かりやすく簡潔にまとめられているか。
- 実験やデータ解析において工夫や独自性が認められるか。
- 自分の考えが明確になっているか。

と書かれています。もちろん、これらの観点で評価をしますが、私は高評価をとるには実験に対するこだわりが重要と思っています。たとえば、実験は多くの応募者と同じ方法でも測定を何回も何回も(きっと他の応募者がやらないぞ、というまで)繰り返すなどと実験にこだわってみましょう。実験にこだわりがあれば自分の考えが明確になります。

理論問題コンテスト

実験レポートの提出が終わったら、次に理論問題コンテストです。問題は運動、波、熱、電気や磁気に関する内容から原子や原子核に関する内容まで物理全般から出題されます。問題には物理を学び始めた人も解ける問題から、少し頭をひねる問題まで用意しています。これらの問題は学校の試験と少し違う視点で作っています。満点をとることは少し難しいかもしれませんが、ぜひ挑戦してください。

理論問題コンテストを受けたのなら、問題解説もぜひ読んでください。「なるほど、そう考えるのだ」と物理の面白さに出会えると思います。試験会場には参考資料の持ち込みができますので、公式を暗記する必要はありません。

物理を楽しむために

参加申込	開始 4月1日(土) 締切 郵送 5月21日(月)必着 Web 5月31日(木)24:00まで
実験レポート	6月15日(金)消印有効
理論問題 コンテスト	7月8日(日)

自然現象の理解には、ふたつのアプローチが必要です。それは、実験をすること、そして理論を組み立てることです。実験と理論のふたつによって自然現象が「なるほど!」と分かり、楽しくなるでしょう。

物理を楽しむために、物理チャレンジに申し込みましょう。重要な日程を上に掲げました。

全国大会(第2チャレンジ)と異文化交流



日本物理学会理事・物理教育委員会委員長
東京薬科大学生命科学部 高須 昌子

はじめに

私は2016年4月から2年間、物理学会の理事として物理教育委員会を担当している。また、物理学会理事の任期中、2016年10月から1年間、物理オリンピック日本委員会(JPhO)の理事をさせていただいた。振り返ると、その前の2011年から2年間、第2チャレンジ理論問題部会の委員だった。その際は、つくばや岡山で採点などを担当し、皆様に大変お世話になった。本稿では、その頃の経験をもとに書いてみたい。

全国大会である第2チャレンジの意義

第2チャレンジは、国際物理オリンピックのための国内選考を行うだけでなく、全国から集まった100人の高校生が、さらに物理を学び、お互いに交流する場でもある。

物理チャレンジの運営や国際物理オリンピックへの派遣は、多くのボランティアの先生方に支えられている。先生方は、問題の作成、合宿の運営、オリンピックへの派遣・同行など、多大な時間を使って膨大な仕事をされている。

全国から高校生が100人集まる

2011年に第2チャレンジで全国から集まった100人の高校生たちを見て、「こういうふうに、全国から100人の高校生が集まったことがある」と、かつてのことを思い出した。

他の所に少し書いたことがあるが[1]、私は高校2年生のときにAFSというアメリカに留学する制度に応募した。まず各県で英語の筆記試験や面接があった。その後、2次選抜として、全国から約100名の高校生が代々木のオリンピックセンターに集まり、3日間の合宿を行った。この合宿では協調性などを見ていたようで、ほとんどの人が合格した。

3日間の合宿では、講義や面接もあった。高校生8名程度のグループに分かれて、一緒に行動した。多くのボランティアの方々を支えられている点も、第2チャレンジと似ている。留学経験のある大学生のボランティアの方々が、各グループに1人ずつついて、いろいろ教えてくださった。

私がいたグループは男子4名、女子4名であり、たくさんおしゃべりをした。参加者は男女ほぼ同じ人数だった。物理チャレンジの全国大会の場合、参加者100名中、女子は数名とのことで、この点はだいぶ違うようだ。

異文化の理解

さて、AFSの合宿の講義の内容で特に覚えているのは、「異文化の理解」である。社会人類学者の中根千枝先生が書かれた『未開の顔・文明の顔』[2]が推薦図書であった。「文化に優劣はない。異なる文化がある。まずはその文化に馴染んでみよう」が合宿の講義のメッセージであった。

この「異文化の理解」というのは、外国だけでなく、専門

分野についてもあるだろう。たとえば、私が勤務する生命科学部は、生物、化学、物理、薬学、医学、農学、環境科学などの専門家が集まっている。私が所属する生命物理科学研究室では、コンピュータ・シミュレーションの手法を用いて、タンパク質やソフトマターや細菌などの構造や動きを研究している。生命科学部の卒業論文や修士論文の発表会を聞きに行くと、他の研究室の研究の様子がわかる。学生の卒論発表は素朴でわかりやすく、質問しやすい。学生の発表を聞いた後で、その教授の先生と相談し、共同研究が始まったこともある。生物の実験系の研究室に所属する大学院生が、1年間こちらの研究室に滞在したことがある。彼はタンパク質のシミュレーションを行い、論文を書き、博士号を取得した。修士の大学院生たちも、データを見せ合って、実験結果からこちらのシミュレーションの方針を決めることがある。逆に、シミュレーションを参考に向こうが実験をすることもある。

このような、生物の実験系の研究室との共同研究も、異文化交流である。大学院生が違う分野の研究室に滞在するのは、一種の留学だろう。分野によって言葉も考え方も違う。文化の違いを学びつつ、成果を出していくプロセスがたいへん面白い。

前述の100人の高校生が集まったAFSの合宿で、全国から参加しているの、人によって言葉のアクセントが違うこともあると気付いた。関西弁だと時々理解してもらえないこともあるので、なるべく標準語に近い言葉で話すようにした。合宿の間、関東風のアクセントでたくさん話したためか、京都に戻ってから、元の京都弁に戻すのに数日かかった。言葉だけでなく、いろいろな考え方に触れて、自分も東京の大学に進学しようと思うきっかけとなった。

第2チャレンジで集まる高校生100人も、試験や講義以外に、お互いに知り合うプロセスが楽しいだろうと思う。

JPhO News Letterのバックナンバーを読み、物理オリンピック出場者が大学生になってからも交流している様子がわかり、とても嬉しい。

高校生の皆さんは、物理学科に進む人もいれば、他の分野に進む人もいるだろう。就職してからも、考え方の違う人と話す機会があるだろう。「言葉が通じない」「考え方が違う」と感じたときは、「異文化交流」だと思って、まずは相手の理解につとめると、新しい展開があるかもしれない。

全国から高校生が集まり交流できるすばらしい機会となる物理チャレンジを運営されているの方々に感謝しつつ、本稿を終えたい。

参考文献

- [1] パリティ編集委員会編『先生、物理っておもしろい?』丸善出版(2015年) pp.153-156.
[2] 中根千枝『文明の顔・未開の顔』中公文庫(1990年)。

「どうなっているの？」で世界に羽ばたこう！



NPO 物理オリンピック日本委員会 監事
(株) 日立製作所 瀧澤 照廣

物理チャレンジは、高校生・中学生のみなさんを主な対象として今年で 14 回目の開催となり、第 49 回国際物理オリンピック日本代表選手決定のスタート点でもあります。

初挑戦の人も、今回も挑戦する人も、全国の仲間と物理チャレンジに参加して自然を理解し科学技術として役立てるための物理の面白さや、楽しさを体験して世界もめざしてみましよう。

みなさんチャレンジを始めましょう

物理学は特に自然を科学的に認識する視点と手段の基礎を提供するという意味で、将来も科学技術・知識基礎社会の基盤であり続けます。

近未来を想定しても、科学技術の知見を人類が直面する課題である地球温暖化防止・生物多様性の維持と持続的成長の両立のために活用することが、みなさんに求められ続けるので、対応力を身に付けて将来の活躍を願うからです。

そのためには、まずチャレンジを開始することです。日常生活で体験する多くの事象に対しても、単に不思議だと思っただけで、知識として学んだだけでは次に活用できるような深い理解は得られません。良く分からない現象や事象でも、物理学的な視点で物事をとらえ、いろんな工夫をして辛抱強く考えたり調べてみることで少しずつ理解が深まり、多面的な見方ができるので面白くなり、活用して何かを実現しようという志につながります。

挑戦を開始した当初は成果が実感しにくいのですが心配することはありません。物理チャレンジに参加して、自分の本当の興味や考え・工夫する習慣などに気付き、多くの仲間と議論する機会を体験したりすると自己認識が深まりさらに挑戦するファイトが湧いてきます。

人類の歴史を振り返っても、先人が多くの誤解や失敗を乗り越えてきた結果として、今日の科学技術社会が築かれていることが分かるからです。

主に力学分野から見た物理学的視点と科学技術

最近の冬季オリンピックでも目標を持って継続的に努力しているアスリートの姿を多く見て感動している近頃ですが、みなさんいかがでしょうか。一方、各種競技に特有な動き（運動）を支える体の筋力や空気力学特性の利用、雪面、氷面の反力や摩擦力の有効活用など、力学的面から競技をとらえても興味は尽きません。選手のみなさんは、競技を科学

的にとらえて、必要なトレーニングを執念深く継続した結果を見せてくれた訳です。ここから新しい種目も生まれ、新記録が出たりしています。

ところで、競技のコース形状や条件は同一として使用器具の寸法などはある程度自由で良いとしたら、競技者の筋力特性に最適なスキーの板幅や板長、スケートの刃長や刃先角などの物理学的に合理的な決定法はあるのでしょうか？人類の文明の歴史を俯瞰しても似たような探究を続けてきたように思いませんか。

落雷に伴う火災の観察から学んだのではないかと考えられる火（燃焼）のエネルギー利用に始まり、季節や天体運動の周期性の気付き、観察から暦を考案して農耕を発達させ食糧確保の道を拓いています。農耕の発達が都市文明の発達と、農地の測量や構造物のための幾何学と税制を支える文字や算術の発展を加速したとも考えられます。衣類について見ても、古代の各文明圏は独立に地域の特性に合った植物や動物由来の資源として、綿花、麻や羊毛、絹などを繊維から糸に、糸を織って布に、それを縫製して衣類にするという共通の技術化の過程を経ているようにも見えます。素材には、細い、短い、その他多くの特徴があっても、衣類を作るために共通のプロセスを見出したのです。おそらく、ローマ文明は最初にグローバル化した例で、以前の文明の知見を束ね、活用と新たな技術を加えて、道路や水道、大型建造物などの社会インフラを構築しました。地震多発国日本では耐震建築技術が発達し、7 世紀に建てられた法隆寺の五重塔の構造には地震応答を少なくする多くの工夫が施されていて幾多の地震にも耐えてきていますが、その特徴は科学的に調べられ、その現代的解釈は東京スカイツリーや明石海峡大橋などに活かされています。

定量的扱いの重要性

物理チャレンジを通して物理量や物理量の間定量的扱いにも慣れ熟練しましょう。数学も定量的扱いには便利な道具になります。

科学的であるとは、仮説を観察・実験などを通して検証できるという実証性を基本として、再現性や客観性が担保されていることです。物理量を定量化して扱うことで客観性を高めたり同類事象に対する予測性を高めることができます。特に物理量間の関係を定量化できると汎用性が出て演繹的な論理展開が可能となり各種の推論・予測に使えるようになることも物理チャレンジを通して実感できます。

サポーター便り ～TDK 歴史みらい館の社会連携活動～



TDK 歴史みらい館

館長 嵯峨 和夫

TDK 歴史みらい館は、TDK の創業者の生誕の地である秋田県にかほ市にある企業ミュージアムであり、2016年10月7日全面リニューアルオープンいたしました。リニューアルの目的は、若年層の企業認知向上、地域社会への貢献、グローバル展開の活用 の3つです。このうち、地域社会への貢献をメインに、特に若年層に対する社会との主な連携活動についてご紹介致します。

小学生向けの取り組み

物理オリンピック委員会をお願いをして開催している「物理プレチャレンジ」や、エレクトロニクスの工作体験を通じて楽しみながら電気の基礎知識を学ぶ「エレクトロニクス体験教室」など、地域の教育委員会や学校などと連携しながら開催しております。

「物理プレチャレンジ」は2017年3月に1回目をTDK 歴史みらい館内のみらいゾーンで開催させていただきました。「シャボン玉を凍らせる」をテーマに、物理オリンピック委員会の北原和夫理事長から地元の小学生向けに楽しくわかりやすく教えていただきました。小学生たちはシャボン玉が箱の中でふわふわ浮いているのが不思議で、身を乗り出して目を輝かせながら学んでおりました。2018年3月に2回目を開催する予定です。



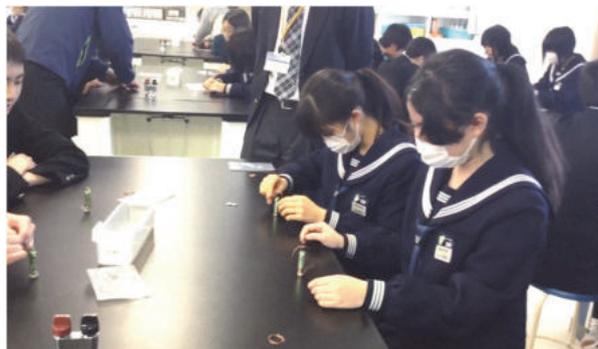
また、「エレクトロニクス体験教室」は、夏休みと冬休みにそれぞれ8日間、また、東北大学カタールサイエンス体験型科学教室で1日間、TDK のOBが講師となって開催しており、10年前からの開催で延べ2,828人の生徒に参加していただいております。

2018年の冬休みは「キュートなロボット作り」に208名の生徒が挑戦し、電子部品の半田付けから組み立てまで全員が完成することができました。参加した生徒からは、実際に作る面白さ、わかりやすい説明から興味の幅が広がったなど非常に好評で、「カメロボット」、「ミニグランドピアノ」など毎回異なる体験ができることから繰り返し参加される生徒が多くおります。保護者の方も挑戦する子供の姿を見てとても喜んでおられました。

中学生向けの取り組み

TDK 歴史みらい館は「磁性」を切り口にしており、中学2年の理科で「電気の世界」を学ぶことから、地元の教育委員会や各学

校の理科の先生と相談し、TDK 歴史みらい館のスタッフが学校に出向く「出前授業」を開催させていただきました。この授業のねらいは、わかりにくい電気や磁気について実際に自分で触ったり組み立てたりしつつ自分の耳や目で不思議な現象を体験することにより、興味と面白味を感じてもらうところにあります。教材は、基礎編（電池と銅線で作る回転するオブジェ）と応用編（紙コップスピーカーの製作）を準備し、先生方の方針と授業の進捗に合わせて実施しました。生徒の皆さんは身の回りの材料を使って、あっと驚く現象を目の当たりにすることで大いに不思議を感じて、理科への興味が倍増したと思います。



高校生向けの取り組み

Pepper を使って高校生が自ら課題を形成しプログラミングを通して楽しみながら課題解決能力を磨くことで成長の手助けができないかという思いから、地元の6つの高校の校長先生や担当の先生と相談させていただき、TDK 歴史みらい館にて「Pepper プログラミング講座」を開催しました。講師はTDK 歴史みらい館のスタッフがいき、生徒は3人一組を基本にグループ単位で半年間受講していただき、その成果を発表するというやり方にしました。2017年2月から第一期、2017年7月から第二期を開催し、延べ17グループに参加していただきました。

2018年2月の発表会では14グループに発表していただき、各グループの発表はとてもよく工夫され、観客参加型の面白味に溢れたものとなりました。学校の先生方やロボットの専門家に発表に対するコメントをいただき、生徒たちにはチームワークの大切さと達成感を感じていただきました。

今後は2018年4月から第三期を開催する予定ですが、中学生向けなど更に講座を充実させる予定です。

おわりに

地域全体の活性化のため、にかほミュージアムスタンプラリー、フェライト子ども科学館のサイエンスカフェや、にかほ市郷土史市民講座との連携、すごろく in 商店会やにかほ駅前ぶらりフェスへの協賛などを行っています。また、この地域にはTDKの事業所が数多くあるため、地域との連携活動は盛んで、TDK モーグルジュニアキャンプ、TDK 野球部の小中学生への野球指導、著名ダンサーを招いての地元中学校でのダンス教室など多彩な社会連携活動を行っています。

国際物理オリンピック 2022 協会 始動



国際物理オリンピック 2022 科学委員長
 東京大学名誉教授 早野 龍五

国際物理オリンピック (IPhO) は 1967 年のポーランド大会から原則毎年開催され、すでに半世紀の歴史があります。日本の IPhO への参加は、第 37 回のシンガポール大会 IPhO2006 からで、これまでに 12 回の大会に代表を送り出してきました。この間、物理チャレンジを指導される先生方のご努力もあって、日本選手は素晴らしい成績を上げており、特に、昨年開催された第 48 回のインドネシア大会 IPhO2017 で、渡邊明大くんが Absolute Winner に輝いたことは、特筆に値する成果です。

いよいよ 2022 年には、国際物理オリンピックが日本で開かれることになり、その準備のため、2016 年 5 月に国際物理オリンピック 2022 組織委員会が発足し、委員長には、ノーベル物理学賞を受賞された小林誠先生が、副委員長には、同じくノーベル物理学賞受賞者の天野浩先生と梶田隆章先生が就任されています。本年 4 月には、実施主体として一般社団法人国際物理オリンピック 2022 協会を設立し、準備を本格化させる予定です。

私は科学委員会委員長 (出題委員長) として、科学委員会の先生方と共に、国際的な批判にたえうる問題を作成する重責を担うことになりました。以下、科学委員会の活動を中心に、IPhO2022 に向けての取り組みの一旦をご紹介します。

過去問を精読する

科学委員会は、2016 年以来、定期的に会合を重ね、日本が IPhO に最初に参加したシンガポール大会から、直近のインドネシア大会までに出題されたすべての問題を読み、理論の問題を解き、また、JPhO の先生方が現地から持ち帰って保管しておられた実験装置を見て、各々の問題の出題意図、シラバスとの関係、問題の良否をまとめる作業を行ってきました。

問題は例年、理論が 3 問 (30 点満点)、実験が 2 問 (20 点満点) です。理論と実験の問題のテーマの一覧表を右に示します。ブラックホール、ダークマター、など、現代物理学の先端に関係した問題や、開催国の「御当地問題」(ベトナムの水力米つき機・ハノイの大気汚染、デンマークの隕石・氷河、インドの原子炉、スイスの LHC 加速器など) も出題されていますが、どれも IPhO のホームページに公開されているシラバスの範囲内 (日本であれば大学 1 年の物理程度) におさまるように工夫されています。しかし、理論問題では、シラバスに含まれないコリオリ力を使う問題 (問題文でコリオリ力について説明) が出たことがありますし、委員も解答に苦労する高度な問題が多くありました。そして、物理的なセンスと計算力は常に重要です。

実験問題は、装置の作りやすさもあってか、半導体レーザーを用いるものが多くありました。指示の通りに着々と手を動かせば何とかなる問題が多く、データ解析は、グラフ (片対数、両対数含む) 上で直線になるようにプロットして直線を当てはめるのが標準です。特色ある問題としては、相転移を扱った「飛び跳ねる

ビーズ」(スイス)、「二重螺旋からの回折 (DNA の X 線回折をヒントにした問題)」(インド) などがありました。

多くの問題はかなり長文で、試験実施日の前夜に、これを短時間で翻訳される引率役員の方々のご苦労がしのべれます。

年度	開催地	理論 1	理論 2	理論 3	実験 1	実験 2
2006	シンガポール	中性子干渉計と重力	運動している棒の観察	独立小問 5 つ	マイクロ波の干渉回折	
2007	イラン	ブラックホールの熱力学	電気と力学の複合問題	連星系の観測データ解析	半導体バンドギャップ	
2008	ベトナム	水力米つき機	チェレンコフ放射	ハノイの大気汚染	差分温度測定法	
2009	メキシコ	地球・月系の時間発展	レーザー冷却と光モラセス	恒星の大きさ	レーザーの波長	雲母の複屈折
2010	クロアチア	金属球による鏡像	煙突の物理	原子核の簡単なモデル	シートの弾性	2 つの磁石に働く力
2011	タイ	三体問題	帯電したシャボン玉	原子によるイオンの散乱	変位センサー (静電容量)	ボール入り円筒の振り子運動
2012	エストニア	各論的な出題	ケルビンの滴下装置	原子星の形成	水の透磁率	非線形素子を含むブラックボックス
2013	デンマーク	マリボー隕石	プラズモン蒸気発生器	グリーンランドの氷河	光の速さ	太陽電池
2014	カザフスタン	独立 3 問	気体・液体の状態方程式	ガス放電	複屈折	
2015	インド	太陽からの粒子	極値原理	原子炉の設計	二重螺旋からの回折	水面の表面張力波による回折
2016	スイス・リヒテンシュタイン	力学 2 題	非線形電気回路	LHC 加速器	2 次元電気伝導度	飛び跳ねるビーズ
2017	インドネシア	ダークマター	火山噴火、地震、津波	インフレーション	食塩水・真水界面の屈折率勾配	磁気浮上

IPhO2022 に向けて

各国の問題を 12 年分読んでみましたが、中には問題設定に無理があるもの、物理の能力を問うていないものなどもあり、必ずしもすべてが良問とは言えないことが分かったのは、これまでの科学委員会の取り組みの大事な成果でした。一方、低コストでセンスの良い実験装置からは多くの刺激を受けました。

今年からは、2022 年に向けた作問と実験装置の開発の試行錯誤が始まります。試験実施現場で必須となる翻訳・採点支援の IT インフラを整備すること、試験採点を行う「マーカ」と呼ばれる方々を集めて指揮することなども科学委員会の重要な任務です。また、資金面、人員面の周到な準備は、実行委員会 (家泰弘委員長)、募金委員会 (榊裕之委員長) のもとで行われますが、IPhO2022 の実施には、政府・産業界・社会一般からの幅広い支援も必要です。みなさまのご支援、ご協力をお願いします。

物理チャレンジ OP たちは今...「数学をしています！」



物理チャレンジ 2005 参加

大阪市立大学大学院理学研究科 数学教室 小池 貴之

私は、物理チャレンジ参加後、理学部数学科に進学し、そのまま院は数理科学研究科へと進みました。その後、東京と京都で計約3年間でポストドクとして過ごした後、今年の1月に大阪市立大学に講師として就職いたしました。生まれも育ちも東京でしたが、段々と関西の人になってきております。

複素幾何学・多変数関数論

専門としましては、修士以来、複素幾何学・多変数関数論の研究を行っております。より具体的には、「複素(代数)多様体」と呼ばれる、リーマン面やその高次元版のような幾何学的対象を研究対象としております。これらの“図形”の性質を、主に計量や曲率といった観点から捉えることが、自分の主な興味です。当初の姿勢としては、やはり「“図形”を計量や曲率の観点から調べる」と述べた通り、幾何学の範疇で研究を行っているつもりでございました。しかし実際にはそれだけではなく、代数多様体の扱い方に関連する代数学や、複素関数の扱い方に関連する解析学等、実に様々な側面から同じ対象を研究できることが特徴的であり、この対象を研究する一つの大きな魅力であると感じております。

数学と物理学の関係

このように学部から、少なくとも所属の上では完全に「数学」であったわけですが、では物理の世界との関わりが完全になくなってしまっているのかというと、決してそのようなことはありません。自分の場合、チャレンジ同期の谷崎佑弥さんと共同で研究をしたという事情も大きいのですが、それを差し引いても、(よく知られている通り)数学と物理との関係は非常に密接です。先ほど自分の分野の魅力の一つとして「実に様々な側面から同じ対象を研究できる」と述べましたが(このような事情も、もちろん、自分の分野だけの事情ではありませんが…)、これには様々な物理学的側面も含まれます。と、申しますか、そもそもリーマン面や複素解析関数の理論の起源自体からして、物理学とは切っても切り離せない分野です。近い分野の最新の研究においても、物理学発祥の単語を目にすることは日常茶飯事です。そのため、折に触れて、そのような概念や対象、手法などについて、勉強をする機会があるわけです。

そのような勉強をする際に、自分にとって一番のネックとなるのが、モチベーションの問題です。もちろん、研究上の動機という意味では、十分に動機があるから勉強を始めるケースが多いわけです。しかし、いざ実際に、自分にとって新しい分野の勉強を始めるとなると、「なんだか大変そうだ」といった類の雑念がつつい浮かんできてしまうのです(我ながら情けない話ですが…)。特にその「自分にとって新しい分野」というのが物理学に近いときには、まず聞きなれない単語が多かったりするため、よりハードルが高く感じるが多々あります。

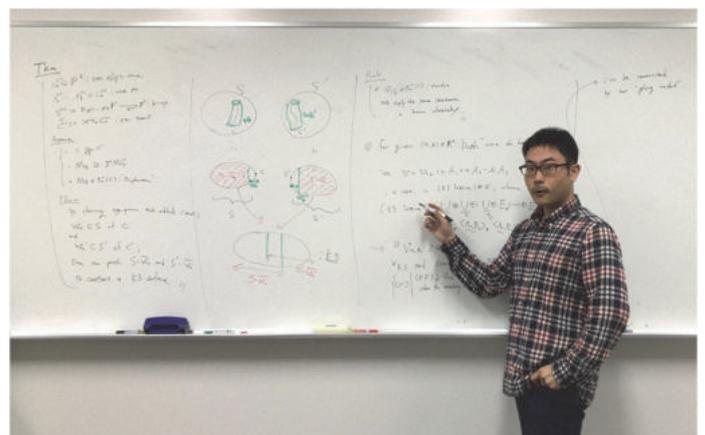
また、実際に勉強をし始めてみたとしても、元々の物理学的概念から、そのごく一部の数学的側面を切り出したもののみが、近い分野では扱われているというケースが多々あります。そのような際には、往々にして定義が天下りの的に与えられた“謎の”概念が、何故か重要な役割をしていると、そのように自分には感じられてしまうわけです。そうなるとやはり、数学的定式化がなされる前の段階まで多少なりとも遡って勉強をしないことには、納得のいかない気持ちになることが多々あります。そうなるとまた、「どこまで勉強をしたら分った気になれるのか」などと不安になり、改めてまたモチベーションの問題にぶつかってしまったりするものです。

物理チャレンジの友人とのつながり

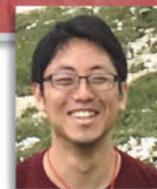
このような意味でのモチベーションの問題に自分が直面するたびに、物理チャレンジを通じて知り合った友人たちや、そこから広がっていった友人関係が、とても大きく感じられます。それには、もちろん、「質問のしやすい知り合いの専門家がいる」という、分かりやすい学術的なありがたさもあるわけですが、より単純に、そのようなことよりも大きなありがたさを感じます。といいますのは、物理チャレンジを通じて知り合った皆さんが、単なる「知り合いの専門家」ではなく、高校生以来の友人であるという点が大きいのだと思っています。

例えばモチベーションの問題に直面しながら、ただならぬ論文や記事を眺めているときに、自分にとって新しく知らない単語の中に、ふと聞き覚えのある単語を見つけたりします。どこで聞いた単語であったかと記憶を遡ると、ほとんどがこの友人から聞いたことがある単語であったりするのです。そうすると、「ではまあ、自分の研究に役立つかは別として、今度会った際の話のネタに、一つ勉強してみるか」などと思い、あっさりとモチベーションの問題がクリアされたりするのです。

…と、真面目に近況を書いていたつもりが、思ったよりもぶっちゃけたことを書き始めてしまいましたので、これ以上変なことを書かないうちに、また皆様と遊んだり研究したりできる日を楽しみにしつつ、この辺で筆を置かせていただきます。



物理チャレンジ OP の博士論文 —エントロピーに関するパラドックス—



物理チャレンジ 2005-2008, 国際物理オリンピック 2006-2008 参加
 東京大学大学院理学系研究科物理学専攻 博士課程3年 村下 湧音

ミクロな物理法則からマクロな現象を説明する理論である統計物理学は、自然科学の様々な分野に使われている。その最も重要な概念の一つがエントロピーであり、時間反転に対する不可逆性の指標を与える。本論文では、現代的な観点からエントロピーに関する二つのパラドックスについて考察した。

我々は、気体混合の問題が絶対不可逆性のクラスに属することを洞察した。そして、示量性より弱い性質である加法性と、絶対不可逆な揺らぎの定理を要請すると、エントロピーの不定性を除去できることを発見した [Murashita & Ueda (2017)]. 具体的には、同種気体混合と異種気体混合におけるエントロピー生成を比較すると、エントロピーの不定性を表す関数と絶対不可逆性の程度を表すパラメータに関する等式が導ける (図1)。この関数方程式を解くことで、エントロピーの不定性を決定できるのである。このように、揺らぎの定理の観点から考察することで、微小な熱力学系における Gibbs パラドックスの欠けていた最後のピースを埋めた。

揺らぎの定理と絶対不可逆性

マクロな系ではエントロピーは常に増加するという熱力学第二法則が知られているが、ミクロな系を考えると熱揺らぎによって確率的にエントロピーが減るような事象が存在する。詳細揺らぎの定理は、熱力学的な過程の不可逆性とエントロピー生成とを定量的に結びつける関係式であり、エントロピーが増える事象の確率 $P[\Gamma]$ が減る事象の確率 $P[\Gamma^{-1}]$ に比べて指数関数的に大きいことを示す: $P[\Gamma]/P[\Gamma^{-1}] = \exp(\sigma[\Gamma])$ [Crooks (2000)]. この定理を用いると積分型揺らぎの定理 (Jarzynski 等式) [Jarzynski (1997)] が導ける: $\langle \exp(-\sigma) \rangle = 1$. 積分型揺らぎの定理に凸不等式を用いると、ミクロ系での熱力学第二法則、すなわち平均値の意味ではエントロピーが増加するという不等式 $\langle \sigma \rangle \geq 0$ が示せ、積分型揺らぎの定理は熱力学第二法則の等式への拡張となっていることがわかる。

しかし、物理的な過程の中には、順経路と逆経路との一対一対応が破れた特異的に不可逆性が強い場合が存在する。我々はそのような不可逆性のクラスを絶対不可逆性と名付けた。絶対不可逆性の下では、詳細揺らぎの定理はエントロピー生成の発散のために定量的な意味合いを失い、積分型揺らぎの定理は絶対不可逆性の程度を表すパラメータを含む形に修正を受けなければならない: $\langle \exp(-\sigma) \rangle = 1 - \lambda$ [Murashita et al. (2014)].

Gibbs パラドックス—気体混合の不可逆性

Gibbs パラドックス [Gibbs (1875)] は、様々な観点があるが、本質的にはエントロピーの粒子数依存性をどのように決定すべきか、という問題である。熱力学的には、同種の気体を混合してもエントロピーは変化しないが、異種の気体を混合すると示量的に (系の大きさに比例して) エントロピーが増加する。一方で、統計力学を使ってナイーブに二つの過程でのエントロピー生成を計算すると、両者の値が等しくなってしまう。この矛盾の背後には、熱力学的エントロピーと統計学的エントロピーとは先験的に等しいわけではなく、両者の間の不定性を正しく決めなければならないという事実がある [Gibbs (1902)]. この不定性をどのように除くかというのが Gibbs パラドックスの問題 (の一面面) である。

マクロな系においては、この不定性は熱力学的なエントロピーに示量性を要請することによって決定される [Pauli (1973), Jaynes (1992)]. (量子統計物理によりエントロピーの粒子数依存性が導かれるという議論が散見されるが、これには論理的な飛躍がある [van Kampen (1984), Jaynes (1992)].) しかし、示量性は系の大きさが無限大である熱力学的極限でのみ成り立つ性質であり、ミクロな系の熱力学を考える際には、示量性に基づく解法は適用できない

Loschmidt パラドックス—可逆力学の不可逆性—

Loschmidt パラドックス [Loschmidt (1876)] は不可逆性の創発に関する問題である。Boltzmann は有名な H 定理を導き、初期状態に依らずエントロピーは単調に増え続けると主張した [Boltzmann (1872)]. しかし、可逆力学の下での運動を考え、その終状態の速度を反転することができると仮定する (Loschmidt の悪魔) と、逆向きに全く同じ経路を辿る。従って、エントロピーが増える経路があれば、それに一対一に対応するエントロピーが減る経路が伴うことになる。故に、可逆力学から不可逆性が導けないというのが Loschmidt の主張である。これに対して、Boltzmann はこのような一対一対応にもかかわらず、確率を考えるとエントロピーが増える経路の方が無限に多いと主張した [Boltzmann (1877)].

可逆散逸系と呼ばれるクラスの系に関する先行研究 [Holian et al. (1987)] によると、この Boltzmann の主張はフラクタル性という観点から理解できる。散逸系では、系の状態空間の中で時間発展を考えると、状態の占める体積が変化し、状態空間の中で構造がフラクタル上に収束する。エントロピーが減り続けるような経路を構成するためには、このフラクタル上から状態を選び速度を反転させなければならない。このように、エントロピーが減り続ける経路は体積ゼロのフラクタル上にあり、ランダムに状態空間上から状態をサンプルした時に、そのような経路を選ぶ確率はゼロになる。すなわち、熱力学第二法則を破るような経路は、運動方程式を破るから存在しないのではなく、確率がゼロになるのでサンプルできないのである。

可逆散逸系とは異なり、状態空間の体積が保存する可逆保存系 (Newton 力学はその一つ) に対しても同様なフラクタル的な描像で不可逆性の創発を理解できるのか考察した。状態空間での体積が保存するために、数学で定義された無限に小さな構造を持つ体積ゼロのフラクタルを生成することはできない。しかし、数値計算によって、有限の長さスケールで見た時にフラクタル的な性質を示す構造が、過渡的に生成されることを発見した。この時、フラクタル性を評価するために、状態の速度を反転する際に微小なノイズを加える、不完全な Loschmidt の悪魔が重要な役割を果たした (図2)。

さらに、このフラクタル的な描像を揺らぎの定理の文脈で捉え直した。すなわち、時間反転過程として Loschmidt の悪魔が生成した不完全な時間反転過程を考えることで揺らぎの定理を議論した。その結果、系の不可逆性の創発を、一対一対応の破れ、すなわち、絶対不可逆性という形で定量化することに成功した。このように、フラクタル性と絶対不可逆性という二つの道具を用いることで、可逆保存系における不可逆性の創発を説明できた。

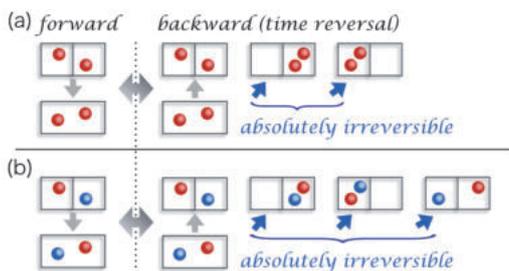


図1. 二つの気体混合過程. 同種気体混合と異種気体混合におけるエントロピー生成の差を考察することでエントロピーの不定性を決定できる。 [Murashita & Ueda, Phys. Rev. Lett. 118, 060601 (2017)]

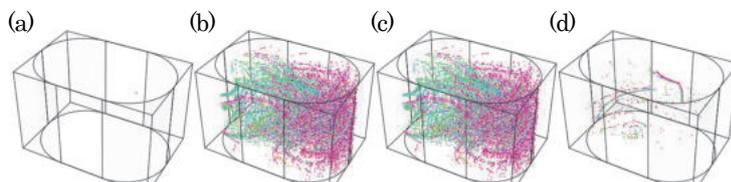


図2. 不完全な Loschmidt の悪魔による時間反転. 状態空間中で小さな体積を占める非平衡状態(a)を時間発展させてフラクタル的な構造を得る(b). 不完全な Loschmidt の悪魔はその状態の速度を反転させるが、その時に少しノイズを加える(c). そして、その状態を時間発展させると、ノイズに応じて初期状態とは異なる状態が得られる(d). 状態(a)と状態(d)の差が絶対不可逆性に寄与する。 [Murashita, et al, arXiv:1802.10483 (2018)]