

JPhO News Letter

Japan Physics Olympiad

No. 26 2020年3月

CONTENTS

- 02 金属の比熱を測る -みなさんの創意工夫を待っています-
- 03 国際物理オリンピック 2020 リトアニア大会に向けて
- 04 物理チャレンジ・物理オリンピック事業に関わってきて
- 05 アジア物理オリンピックについて
- 06 岡山県での「科学オリンピックへの道」事業
- 07 大学における教員養成での物理チャレンジ普及の取り組み
- 08 物理チャレンジOPの博士論文

4月から物理オリンピック日本委員会は、
特定非営利活動法人(NPO)から
公益社団法人になります

第16回全国物理コンテスト
JPhO JAPAN PHYSICS OLYMPIAD
物理チャレンジ2020

参加者募集!!

物理チャレンジは、高校生・中学生の皆さんを主な対象として、
物理の面白さや楽しさを体験してもらうことを目的とする全国規模のコンテストです。
国際物理オリンピック日本代表選考を兼ねています。

参加の流れ	第1チャレンジ	第2チャレンジ	国際物理オリンピック 日本代表選考
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：2020年4月1日(水)～5月18日(月) WEB：2020年4月1日(水)～5月31日(日)	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2020年6月15日(月)提出開始 提出締め切り 実験課題公開中 ●理論問題コンテスト2020年7月12日(日)全英一斉 9:00開始 9:00会場 ※理論問題コンテストの会場については、4月から公開される物理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。会場一覧を参照してください。 参加費：2,000円	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」の総合結果に基づき選抜された約100名が、理論問題と実験問題にチャレンジします。 会 期：2020年8月19日(水)～22日(土) 3泊4日 開催地：岡山県青少年教育センター 岡谷学校 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)及び優待賞(約20名)等。 参加費：5,000円	物理チャレンジ2020成績優秀者の中から2021年にベネチアで開催される 第15回国際物理オリンピックの日本代表選手候補者 を輩出します。 また海外研修として、日本代表候補者のみならず、2021年春に開催される アジア物理オリンピックに派遣する選手 も選出する予定です。



特定非営利活動法人 物理オリンピック日本委員会
NPO The Committee of Japan Physics Olympiad (JPhO)

Tel: 03-5228-7406 E-mail: info@jpho.jp Web: www.jpho.jp/

金属の比熱を測る —みなさんの創意工夫を待っています—



第1チャレンジ部会長
津山工業高等専門学校 佐藤 誠

実験課題は「金属の比熱の測定」です

第1チャレンジでは、実験レポートの提出と理論問題コンテストへの参加をお願いしています。高校生対象の科学コンテストで参加者全員に実験レポートを課しているのは、知る限り物理チャレンジだけです。物理学は、理論と実験が車の両輪として前進する知の体系です。実験や観察は自然との対話です。自然はときに理解を超える現実を話してくれます。その言葉を理解するには聞く側が受け入れる理論を準備しなくてはなりません。

鉄、銅、アルミニウムなどの 金属の比熱を測ってみよう

2種類以上の金属について測定し、その結果から、金属の種類と比熱の関係を考察しましょう。測定際には、断熱の方法を工夫してください。

今年の実験課題は上に示したとおりです。比熱は単位質量の物質の温度を1度上昇させるために必要な熱量です。「基礎物理」の教科書には、熱量計を用いて比熱を測定する実験や関連する問題などが説明されています。金属の比熱の表も載っています。金属の比熱を求めるのは簡単だと思われるかもしれませんが、確かに大雑把な値を知ることは簡単ですが、これを2桁の精度で測定するには、実験や測定方法に工夫と創意が相当に必要です。熱を扱う実験では、温度計の利用が必須となると思います。温度計で温度を測ると測りたい物体の温度が変わることがあります。温度計にも熱容量があるからです。温度は平衡状態で測定する必要がありますが、測定系が平衡状態になるまでには時間がかかります。しかし、熱の散逸が全くない状態で時間経過を待つことは不可能です。練習問題にあるような完全な断熱はできないのです。不確かさを減らした測定を行うには実験の様々な場面で注意が必要です。例えば、沸騰した水中の鉄の試料を熱量計に移動させる操作を行うとして、試料の表面に残った水滴は比熱測定にどの程度影響するのでしょうか。測定に影響があるとすると、どのようにして影響を回避することができるのでしょうか。また、熱量計から散逸する熱の影響は比熱測定にどの程度の影響を及ぼすのでしょうか。

このように比熱を測定するには、断熱の工夫、温度の測定方法、測定操作による測定対象の状態の変化など考慮しなければ

なりません。不確かさを少ない測定値を得るために上記のことながらも参考に実験方法や測定方法を工夫してください。

鉄、銅、アルミニウムは身近にある単体の金属です。教科書の比熱の値をみると、それぞれ0.45、0.38、0.90 J/(g·K)と掲載されています。アルミニウムの比熱が鉄や銅に比べて倍近い値であることに気付くと思います。この違いは何処からくるのでしょうか。上記の実験課題に示すように、単に数値の結果を得て列挙するだけではなく、金属の種類と比熱の関係を考察することも期待しています。

高級な装置を使ったからといって必ずしも良い結果が得られるわけではありません。みなさんがどのような装置を考え、工夫して測定し、不確かさを数値で示し、そしてどのような物理を考察するのかをレポートで読ませてもらえるのを楽しみにしています。

理論問題コンテスト

令和2年の第1チャレンジ理論問題コンテストは、7月12日(日)です。マークシート方式で解答数約30、解答時間90分です。教科書、参考書、ノートなどの参考図書の持ち込みが可能です。問題の構成は、基礎基本の小問集、運動、熱、波、電気や磁気、原子と原子核、総合問題から成ります。基本問題から考えさせる問題まで、難易も多様です。第1チャレンジ問題は教科書や問題集によく見られる問題とは異なる視点でつくっています。全問正解は難しいかもしれませんが、問題にチャレンジすることで物理に対する新しい気付きを得ることを期待しています。

コンテスト後、理論問題の正解と問題解説を配布しますので、それをヒントに、物理の考え方を学び、自己の成長に役立ててください。

はじめに述べたように、物理学は理論と実験が車の両輪として前進する知の体系です。実験課題と理論問題コンテストをともに楽しんでください。

■ 参加申込

開始 4/1 (水)

〆切 郵送：5/18 (月) Web：5/31 (日) 24:00 まで

■ 実験レポート〆切 6/15 (月) 消印有効

■ 理論問題コンテスト 7/12 (日)

国際物理オリンピック 2020 リトアニア大会に向けて



国際物理オリンピック派遣委員会委員長
中屋敷 勉

はじめに

IPhO2020 リトアニア大会の日本代表候補生 12 名が、8 月下旬の「物理チャレンジ」を経て確定した。以降、IPhO に向けた現在までの取り組みを報告する。

空合宿と通信添削

候補生決定後すぐの、9 月 21 日(土)~23(月)に、軽井沢の山崎教育財団の研修所をお借りして、秋合宿を行った。これは、候補生相互の親睦を図るとともに、理論や実験の導入的研修を行い早い段階で自覚を持ち勉強が始められるようにするためである。さらに、OP や研究者との交流を通して、今後の準備を確認するとともに、IPhO だけでなくその先も見据えてキャリアプランニングさせる目的もある。



また、3 月の代表決定の最終試験までの、理論と実験の通信添削の計画も提示され、今後のやるべき事の多さに候補者全員驚きながらも決意を新たにしていたようである。

冬合宿

2019 年 12 月 20 日(金)から 23 日(月)にかけて、東京都八王子市の八王子セミナーハウスと東京工科大学の実習室をお借りして実施した。秋合宿後は通信添削によって理論と実験の研修を行ってきたが、冬合宿は実験研修にウェイトを置いているが、理論研修にも力を入れ、特に協同学習を意識して、普段離れている候補者同士の協力によって問題解決にあたらせるなど工夫している。そんな冬合宿の概要を報告したい。

冬合宿は、セミナーハウスでは理論研修と宿泊、東京工科大学では実験研修を行った。日程は以下のとおりである。

日付	開始時刻	主な活動と内容(抜粋)
12月20日(金)	13:00	参加者集合(JR 八王子みなみ野駅)
	13:50	セレモニーと案内
	14:30	実験研修 I (2.5h) アナログ/デジタルオシロ, LRC 回路
	18:30	実験研修 II (2.0h) 添削解説, フィッティング
	21:00	入浴, 自由時間 23:00 消灯, 就寝
	9:00	理論研修 I (3.0h) 電磁気, 量子論の講義

21日(土)	13:00	理論研修 II (2.5h) IPhO 過去問・OP による解説
	15:30	理論研修 III (2.5h) グループで問題, 解答発表解説
	19:00	理論研修 IV (2.0h) 現代物理の講義
	21:00	入浴, 自由時間 23:00 消灯, 就寝
2日(日)	9:00	実験研修 III (3.0h) IPhO 過去問(タイ問題1)
	13:00	実験研修 IV (5.0h) IPhO 過去問(デンマークタイ問題2)
	19:00	実験研修 V (2.0h) 各班ごとに解答発表, 解説
	21:00	入浴, 自由時間 23:00 消灯, 就寝
23日(月) 祭日	8:40	東京工科大に移動
	9:30	実験研修 VI (2.0h) 基礎実験実習(ボルダの振り子)
	11:30	昼食(交流会)
	14:00	解散 (JR 八王子みなみ野駅)

活動内容

理論研修は 21 日に集中して行い、研修 I は IPhO 過去問(スニア)の問題演習と電磁気学の講義、さらに量子論の講義を行った。研修 II は IPhO 過去問(スイス)を各自解かせ OP 委員が解説、研修 III は候補生を 3 グループに分け、提示された IPhO 過去問(ロシア, タイ, ガルフスタン) 3 問中 1 問を選び協力して解くアクティブラーニング形式での研修で、後半は各グループが解答と解説を披露、研修 IV は相対論に関する問題演習と電気回路における非線形ダイナミクスの問題に取り組んだ。



実験研修は、研修 I では、デジタルオシロの使い方や波形観測の基本等を行った後、LCR 共振回路の実験に取り組んだ。研修 II は添削の解説とフィッティングについて実習を交えながら行った。研修 III, IV では、IPhO の過去問(タイ, デンマーク)をグループごとにローテーションしながら実施。研修 V は、各班ごとに自班の解答や考え方を発表し議論した。研修 VI では誤差解析の基本実習としてボルダの振り子実験を行った。その後、交流会を行った。

事後アンケートによると、秋合宿以来で、他の候補生との差を実感しモチベーションが高まったようである。楽しくも刺激の多い合宿となったようだ。



物理チャレンジ・物理オリンピック事業に関わってきて



物理オリンピック日本委員会 前理事長
北原 和夫

物理チャレンジ事業はどのようにして始まったのか

日本が物理オリンピックに初めて参加したのは 2006 年のシンガポール大会のときでした。その前年 2005 年夏に「物理チャレンジ」という中高生の物理コンテストが、日本における「世界物理年」の企画として初めて実施され、そこで選ばれた生徒たちを訓練して、最終的に 5 人に絞ってシンガポール大会に派遣したのです。「世界物理年」というのは、2002 年 10 月 IUPAP (国際純正応用物理学連合 International Union of Pure and Applied Physics) が、2005 年を「世界物理年 (World Year of Physics、略称 WYP) とすることを決めたところから始まったのです。その趣旨は「…物理学そのものと日常生活における物理学の重要性に対する一般の意識が薄れてきています。国際的な物理学コミュニティは物理学の見通しと確信とを、政治や一般の人々に伝えるべく行動を起こさなければなりません。…」というものでした。2005 年は、アインシュタインが三つの論文 (相対性理論、光電効果の理論、ブラウン運動) を発表して物理学を大きく変えた 1905 年からちょうど 100 周年でした。さらに、IUPAP の提案を受けて国連総会は 2004 年 6 月に、2005 年を「国際物理年 (International Year of Physics)」とすることを決議しました。その趣旨は「…物理学は自然の理解を高める上で重要な基礎であることを認識し、物理学とその応用は、今日における技術の進歩の基礎であることに留意し、物理教育は男性にとっても女性にとっても開発に不可欠な科学的基盤となることを確信する。…」というものです。このような世界的な運動に対応して、2004 年に日本の物理系学会が集まって「世界物理年日本委員会」が結成され、2005 年の WYP の運動の一つとして、「物理チャレンジ」が企画され、仁科芳雄博士の出身地の岡山県の協力を得て、第一回の二次選抜を岡山県の閑谷学校で開催することになったのです。また 2004 年夏の国際物理オリンピック (International Physics Olympiad、略称 IPhO) が韓国の浦項で開催されたとき、日本から視察団を送り実際の運営の様子をみてきました。実はその前に 2002 年秋に韓国物理学会創立 50 周年式典に日本物理学会会長として出席した際に、2004 年の IPhO には是非日本から代表団選手を派遣するように要望されており、視察団を送る弾みとなりました。

「物理チャレンジ」実施の基本的な考え方

2005 年の「物理チャレンジ」の企画のときに心したのは、WYP の趣旨に照らして、単に 5 人の IPhO 代表を選抜するというのではなく、物理学を学ぶ意味と楽しさを多くの生徒たちに伝えることを第一に考えました。まず一次試験では理論と実験の課題を公開し、それぞれ締め切りまでにレポートを郵送で提出してもらう。それを委員が採点するという形にしました。第一回のときは 200 名ほどの参加でした。その後、理論課題については、全国に試験場を確保して一斉試験の形にし、参加

者の急増に対応して選択式解答にして採点を自動化しました。一方実験課題については、中等教育における実験の重要性に鑑み、その後もレポートの提出の形で継続しています。毎年千数百通の実験レポートを一つ一つ丁寧に採点する労力は大変ですが、素晴らしい実験レポートが毎年必ずあり、これを優秀賞として公開しています。優秀な実験レポートは年ごとにさらに質が向上しており、この実験課題を課すことの意味は教育的に意味があったと思います。今後とも一次選抜における実験課題は可能な限り継続したいというのが委員会の皆さんの総意です。一次選抜に実験を課しているのは、様々な教科の中で物理は例外的であり、世界的にも日本が例外的です。

一次選抜で 100 名ほどの生徒を選抜してから、夏に三泊四日の合宿形式で行われる二次選抜は、5 時間の理論試験、5 時間の実験試験を内容とします。これは IPhO での試験と同じ形です。試験の間には合宿地の近くにある研究施設の見学なども行い、また参加者同士の交流、試験についての解説会などがあります。この二次選抜の形は第一回以来ほぼ同じ形で続いています。2005 年の最初の物理チャレンジの問題作成のときは、生徒たちがどんな能力をもっているのかなかなか想像がつかず苦労しましたが、思い切ってアインシュタインのブラウン運動の論文をベースにした問題を作ってみました。非平衡状態の緩和現象としての粘性抵抗と拡散現象を結びつけるものですが、使われている数学自体は易しいのです。ただ考え方としては、高校や大学の基礎コースを超えたものでした。ところが、その問題で満点をとったのが何と中学生の参加者で、後で感想を聞いたら「最初は何のことかさっぱり分からなかったが、解いているうちに面白くなって新しい物理の分野に目が開かれた」ということでした。良い問題が出せて良かったと思いました。その後も委員の方々が現代物理学の基本問題に通じるような面白い問題を次々に作っており、委員会として問題解説集を刊行しています。

物理チャレンジの成果

2005 年に「物理チャレンジ」を始めてから 15 回を重ねました。その間に震災、豪雨などの災害のために一次選抜の理論試験の実施が地域的に困難となったときもありました。しかし何とか継続できたことは、文科省の支援、各地の教育委員会や大学の協力、そして委員の先生がたの出題、企画運営、広報活動などにおけるボランティア奉仕によるところが大きいです。また参加した生徒たちが大学に進学してから本活動に協力してくれていることも大きい支援です。そのような支援の輪の広がりによって、物理チャレンジ事業がさらに広く認知されるようになりました。初期の頃参加した生徒たちが、その後大学、大学院へと進み、現在様々な職種で、国内外で大活躍をしています。事業開始して 15 年を経過して、物理チャレンジ事業の成果が目に見えてきたことは嬉しい限りです。

アジア物理オリンピック (APhO) について

国際物理オリンピック派遣委員会・理論研修部会
杉山 忠男



アジア物理オリンピック (APhO) とは

国際物理オリンピック (IPhO) を盛り上げ、アジアの国々における物理教育の発展を期する目的で、アジア物理オリンピック (APhO) は、IPhO の形式に倣って始められました。

第1回の APhO は、2000年にインドネシアで開催され、下表のように2019年のオーストラリア大会まで毎年開催され、2020年に台湾大会が予定されています。

	年	開催地	主催国	参加国数
第1回	2000	カラワジ	インドネシア	11
第2回	2001	台北	台湾	12
第3回	2002	シンガポール	シンガポール	15
第4回	2003	バンコク	タイ	10
...
第18回	2017	ヤクーツク	ロシア	24
第19回	2018	ハノイ	ベトナム	25
第20回	2019	アデレード	オーストラリア	23
第21回	2020	台北	台湾	...

APhO の大会では IPhO の大会と同様に、理論と実験のコンテストがそれぞれ5時間ずつ行われますが、1つ大きな違いがあります。1国あるいは1地域あたりの代表選手数は、IPhO の場合5名ですが、APhO では8名です。また、APhO 参加は、例年20数カ国ですが、この中には、中国、台湾、タイ、シンガポール、ベトナム、ロシアなど、IPhO の大会でつねに好成績を上げる国々が多いため、出題される問題は、IPhO に比べて難易度が高いという評判です。このような大会に、これまで日本は参加してきませんでした。

APhO への日本参加の要請

日本は、2006年に IPhO シンガポール大会に参加して以来、APhO に参加している国々から参加を求められ続けてきました。実際 APhO への参加は、IPhO 参加の準備として大いに役立つであろうと思われましたが、物理オリンピック日本委員会 (JPhO) としては、参加の要請を拒み続けてきました。その大きな理由は、APhO 大会日程が4月から5月にかけての10日間近くであり、この時期に「選手を APhO に引率する委員が10日近く本務を休むのは難しい」という事情にあります。

そのような中で、2019年8月、文部科学省より、「なぜ APhO に参加しないのか」、「APhO への参加を検討して欲

しい」との要請があり、JPhO として APhO 参加の検討を本格的に始めることになりました。

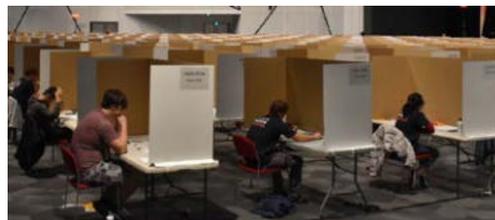
2005年、物理チャレンジの全国大会である第2チャレンジを岡山県・関谷学校で開催して以来、16年にわたる活動を続けてくる中で、JPhO の委員も次第に増え、5月に APhO へ引率する委員の確保もある程度可能な状況になってきました。他に仕事をもっている委員が5月頃、長期にわたり本務を休むことは、現在でも難しい状況であることになり変わりますが、大学、高校などを定年退職された経験豊富な委員が少しずつではあるが増加してきています。このような方々に APhO への同行をお願いする可能性が広がってきました。そこで、JPhO として APhO 参加の方向に一歩を踏み出すことにしました。



APhO2020 ロゴ



APhO2019 閉会式での挨拶



APhO2019 コンテストの様子

APhO 参加とその後に向けて

まず、2020年度は台湾大会にオブザーバー2名を派遣して、現在の APhO の状況を体験し、その上で、2021年度から代表選手を派遣して正式参加することにしました。その場合、APhO 参加者の選抜方法を具体的にどのようにするか、検討する必要があります。これは次年度に向けて残された課題になっています。

また、APhO に参加すると、APhO の日本開催を要請される可能性があります。現在、IPhO2022 協会が IPhO2022 日本大会開催に向けた準備を進めています。同協会の経験を生かしながら APhO 日本大会開催についても検討していくことになるでしょう。今後、みなさまからのご支援、ご協力、よろしく願いいたします。(2020年3月10日現在、新型コロナウイルスの影響で APhO2020 台湾大会は開催について検討中です。)

岡山県での「科学オリンピックへの道」事業



物理チャレンジ普及委員会
岡山大学グローバル人材育成院 味野 道信

はじめに

全国各地で物理チャレンジに関連する様々な取り組みが開催されています。2020年の第2チャレンジを開催する岡山県でも多くの取り組みがありますが、その中から岡山県教育委員会が主催する「科学オリンピックへの道 岡山物理コンテスト」と「科学オリンピックへの道 セミナー」について紹介したいと思います。これらの事業では、岡山県内高校の物理担当の先生が中心となってコンテストの作問、セミナーでの講義等を立案実施しています。参加資格は国際物理オリンピック出場を目指す県内の高等学校、中学校及び中等教育学校に在籍する生徒となっています。

岡山物理コンテスト

「岡山物理コンテスト」は、身近な物理現象に関する基礎的な選択形式の問題A、そして思考力や判断力を必要とする記述問題Bが出題され、それぞれ50分と70分で解答します。問題は幅広い範囲から出題されています。例えば2019年度は、重力波測定に関連した問題、ランドルト環による視力検査を光学的に理解する事から始めてブラックホールを撮影する望遠鏡に必要な分解能について考察する問題など、最新的话题を取り込んだ問題も出題されています。コンテスト

表1. 開催年度別の岡山物理コンテスト参加者

実施年度	参加人数	参加学校数
H23	102	高校13 中学1 中等1 15校
H24	118	高校17 中学2 中等1 20校
H25	104	高校15 中学2 中等1 18校
H26	101	高校15 中学3 中等1 19校
H27	170	高校17 中学6 中等1 24校
H28	167	高校14 中学5 中等1 20校
H29	116	高校13 中学5 中等1 19校
H30	145	高校13 中学4 中等1 18校
R01	151	高校9 中学2 中等1 12校



図1. 岡山物理コンテスト2019の様子。左がコンテスト問題解答中、右がJPhO 長谷川理事長による講演会の様子。

の始まった平成23年度からの参加人数を表1に示します。様々な学校から中学生も含めた100人以上の生徒が毎年参加しています。コンテストでは問題を解くことに加えて、物理チャレンジや国際物理コンテストの紹介、最近の物理研究を紹介する講演なども実施されます。参加者のアンケートによると、問題Bに関しては多くの生徒が難しい(難しい66%、少し難しい16%)と感じる骨太の問題となっていますが、大多数(83%)の生徒がコンテストに参加して物理への興味関心がさらに高まったと回答しています。問題の詳細や参加者の感想などは岡山県のホームページで公開されています。是非「岡山物理コンテスト」で検索してご覧ください。

科学オリンピックへの道セミナー

10月に実施される「岡山物理コンテスト」での成績優秀者約25名は、12月に実施される「科学オリンピックへの道セミナー」へ参加することができます。そして、より高度な演習や実験を体験し、物理チャレンジそして国際物理オリンピックへの出場を目指します。各種測定装置の使用法、測定時の誤差の取り扱いに関する講義、実験レポートの作成と添削指導なども実施されます。

2019年度は12月25、26日に岡山大学を会場として実施されました。講義や実験研修に加えて、国際物理オリンピック出場経験者を招いて講演や交流会も開催されています。2018年度までは2泊3日の合宿形式で、過去の第2チャレンジの理論問題と実験問題も体験していました。これらのプログラムを通じて、物理チャレンジについて理解を深め、国際科学オリンピックへの出場を具体的かつ現実的な目標と意識してもらうことを期待しています。



図2. 2019年度科学オリンピックへの道セミナーの様子。左が実験研修、右が国際物理オリンピック出場者による講演。

大学における教員養成での物理チャレンジ普及の取り組み



国際物理オリンピック派遣委員会・理論研修部会
東京理科大学 興治 文子

物理チャレンジ・オリンピックをどのように知るか

みなさんは、物理チャレンジや国際物理オリンピックのことをどこで知りましたか。学校の先生に参加することを薦めてもらった人や、先輩や友達から話を聞いた人もいるかもしれません。

私の場合は、2006年春に開催された学会で、物理チャレンジの取り組みの話聞いたのが初めてだったと思います。前年の2005年は、アインシュタインが歴史に残る3つの発見、特殊相対性理論、光量子説に基づく光電効果の理論、ブラウン運動の理論を発表してからちょうど100年になることを記念して、国際純粋・応用物理学連合(IUPAP)が世界物理年と設定しました。

日本では、物理学の発展や成果をできるだけ多くの人に伝えるために、科学館や博物館での展示や、若者への普及活動がたくさん行われました。物理チャレンジや、国際物理オリンピックへの日本代表選手の派遣の構想は、2005年よりもずいぶん前からあったようですが、実際に始まったのはこの世界物理年の2005年からです。2006年春に愛媛大学/松山大学で開催された日本物理学会では、物理教育の分野の発表として「若者にチャレンジの機会を」と題し、「I. 世界物理年の取り組みから」、「II. 物理チャレンジと国際物理オリンピック」、「III. 国際物理オリンピック2005(スペイン大会)報告」、「IV. 国際物理オリンピック2006(シンガポール大会)に向けて」という4本の発表がなされています。

大学の授業で何を扱っているか

その後、縁あって物理チャレンジや国際物理オリンピック事業に参加しています。本務先の大学では、理科の教員免許状取得を希望する学生を対象として、理科教育の授業を担当しています。

理科教育の授業では、毎年受講している学生に、物理チャレンジや国際物理オリンピックのことを知っているかどうか聞いています。知っていた学生が2割程度、参加したことがある学生には残念ながらまだ出会ったことがありません。物理ではなく、化学や地学のオリンピックの国内予選コンテストを受けたことがある学生は何人かいました。彼らの多くは、高校の先生に薦めてもらったから受けたということでした。

授業の内容としては、まず物理チャレンジの問題を見てもらいます。大学入試の問題とは異なり、物理チャレンジの問題は最先端の研究成果や歴史的発見がテーマになっていることもあります。率直な感想として難しいと感じるものが多いかもしれませんが、高校までで物理を学んだ先に、研究者たちがどのようなことを考えているのかを伺えるような、わくわくする話題も多く含まれています。

また、第1チャレンジで課されている実験レポートの書き

方に示された項目は、これから先生になる人たちが先生になったときには、きちんと指導していかなければいけない項目でもあります。さらに、第1チャレンジも第2チャレンジも実験課題は、「探究活動」のテーマ探しの宝庫でもあります。

国際物理オリンピックの方はどうでしょうか。日本代表選手は1年につき5人しか選ばれないので、ほとんどの人にとっては別世界です。国際大会のようすをビデオにまとめたものが2本あります。1本目は日本が初めて国際大会に参加した2006年シンガポール大会、2本目は2011年のタイ大会です(非売品)。このビデオの一部を授業で見せています。国際大会のことがニュースで報道されるときには、金や銀のメダルが何個だったかが主たる内容になってしまっていますが、大会は試験だけのためにあるわけではありません。開催国の著名な研究者の研究成果の紹介があったり、文化に触れる機会があったり、参加している選手同士の交流の時間が設けられたりしています。授業では、こういったようすをビデオ映像を通して紹介しています。ちなみに、国内の第2チャレンジも、国際大会の精神を尊重したプログラムになっており、試験だけではなく研究紹介や参加者同士の交流の機会も大切にしています。

メッセージ

授業の最後に受講している学生に書いてもらっている振り返りを見ると賛否両論あります。「○○オリンピックや科学の甲子園などに興味があり、兄弟も参加しているので、家庭環境や学校の環境の影響が大きいと思った」、「同世代で○○オリンピックを経験している人たちがいることを初めて知ってびっくりした」、「みんなが研究者になるわけではない」、「やっぱり難しそうで自分には無理」などです。

確かに、みんなが研究者になるわけではないし、第2チャレンジも狭き門で希望する生徒みんなが参加できるわけではありません。それでも、物理の普及には、「伸びる生徒を伸ばす」領域と、「面白さの種をまく」領域の両輪で成り立たいと思います。本委員会の活動は、物理チャレンジの開催や国際物理オリンピックへの派遣だけでなく、プレチャレンジやファーストステップ研修など、規模は大きくありませんが普及活動も継続的に行っています。このような事業は、学校外での物理普及の1つの形態で、学校の先生方にはこのような事業があることを生徒に伝えてもらえたらと嬉しく思います。

他国では、コンテストに参加して良い成績を修め、大学合格や入学後の奨学金取得することを目的として参加している生徒が多い国もあると聞きます。コンテストという性質上、そのような動機づけもありうると思いますが、物理学の面白さの普及という観点で、試験の成績だけを重視した取り組みではないことへの理解も広めたいと考えています。

物理チャレンジ 0P の博士論文 -量子多体系の熱平衡化-



物理チャレンジ 2009, 2010, 国際物理オリンピック 2010 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 濱崎 立資

量子力学を用いて、統計力学を導く

量子力学などのミクロなダイナミクスの記述と、熱・統計力学などのマクロな多体现象の記述は、それぞれ独立に成功し、物理学を支えてきた。一方、マクロな現象も原理的には量子力学に従う。そこで、統計力学を量子力学のみから導出する「熱平衡化」の試みが von Neumann に 1929 年に提起され、それ以来、量子統計力学基礎論の伝統的問題となっている。

実は、ここ 10 年ほどの間で、この熱平衡化の問題があらためて大きな注目を集めている。近年の目覚ましい量子科学技術の発展により、(冷却された原子系など) ミクロな量子自由度を操作し、マクロな多体系を観測できるようになったためだ。これに触発され、(熱浴や外力など) 外部の影響がない孤立量子系が熱平衡状態へ緩和する条件や、外部の影響を受けた開放量子系特有の非平衡現象などが、理論的にも盛んに研究されている。こうした統計力学基礎論は、量子情報・物性・原子核物理など多分野との関わりが認識され、量子多体系の研究における近年のフロンティアとなっている。以上の背景のもと、本論文では、孤立および開放量子多体系の熱平衡化に関する理論的研究について 3 つの結果を扱った。

孤立量子多体系の固有状態は「典型的」か？

孤立量子系が熱平衡状態へ緩和する問題に関し、von Neumann は現代的観点から見ても先駆的な仕事を行なっている。一つ目は熱平衡化の十分条件を与える eigenstate thermalization hypothesis (ETH) と呼ばれる仮説である。ETH の主張は通常のカノニカル分布などのアンサンブル描像と異なり、「量子系のエネルギー固有状態一つ一つが熱的な状態である」という驚くべきものである。ETH は多くの物理モデルでその正当性が数値的に示唆されている(ただし、乱れたポテンシャル中の粒子では波動関数の局在が起き、ETH は成立しない)。Von Neumann の仮説の二つ目は、ETH がなぜ多くの系で成り立つかに関してで、「典型性の仮説」と呼ばれる。これは、物理系のエネルギー固有状態が、ミクロカノニカルセルを表すヒルベルト空間の中の(一様ハール測度に関し)ランダムな(=典型的な)一状態を取るという仮説である。典型性の議論は現在でも ETH の有力な候補の一つであった。

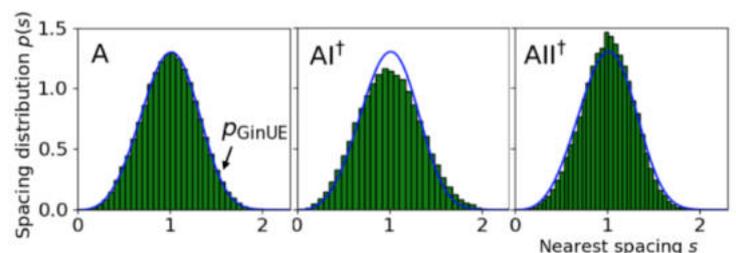
私は、典型性の議論では、マクロな物理系が持つ局所性(長距離の相互作用がないこと)を考慮されていないことに気がついた。そして、局所性を考慮した場合のほとんどの状況では、典型性の議論が成り立たないことを厳密に示した [Hamazaki & Ueda (2018)]。これは、実験で興味のある物理系では von Neumann の議論は適用できず、ETH の正当化には典型性に頼らない議論が必要であることを主張する。

開放量子多体系の新しい動的量子相と数理

上では孤立した系を考えたが、どんな系も実際には外界と接触している。こうした開放系の熱平衡化は、その重要性にも関わらず基礎的な理解が進んでいない。私は、孤立系の熱平衡化の知見をヒントに、開放系の熱平衡化に関連して重要となる、動的な量子相とランダム行列の数理を研究した。

まず、開放量子系の一種である非エルミート系(非対称なホッピングを持つ粒子系)に乱れを入れると、孤立系の局在転移と同様の転移が起こることを示した [Hamazaki, Kawabata & Ueda (2019)]。この際、非エルミート系特有のスペクトル転移(ほとんどの固有値が複素から実になる転移)とそれに伴う動的不安定性の転移を発見した。このスペクトルおよび不安定性の転移は今までに定性的にすら議論されたことのない、開放多体系特有の新奇な転移である。

上の仕事では、非局在相での開放系のスペクトルが非エルミートランダム行列で表されることも発見した。これに動機づけられ、私は非エルミートランダム行列の基礎研究を行った [Hamazaki *et al.* (2019)]。ランダム行列の固有値間隔分布などの統計はランダム性の詳細によらず、これは普遍性と呼ばれる。Dyson は時間反転対称性、すなわち複素共役 H^* によってエルミート行列を三種類に分類し、この三種の対称性クラスが三種の異なる普遍性を導くことを示した。一方、Ginibre による、時間反転 H^* に関する三種類の非エルミートランダム行列の対称性クラスは、ただ一つの普遍性しか導かないことが知られていた。私は、非エルミート行列では時間反転対称性と転置に関する対象性が異なる ($H^* \neq H^T$) ことに注目し、転置 H^T に対する三種の対称性が、三種の異なる固有値間隔分布の普遍的統計を導くことを示した(図)。また、それらの普遍性が開放量子系で自然に現れることを指摘した。この研究は開放量子系での熱平衡化を議論する上での基礎づけになると考えられる。



図：異なる普遍性を示す固有値間隔分布。従来知られていたクラス A (一般の非エルミートランダム行列、左図) に加え、転置操作に対する対称性に関する、異なる二つの普遍性を発見した。例えば中央のピークが最も低いグラフは転置操作に対し不変な非エルミート行列(クラス AI^\dagger) の普遍性である。