

# JPhO News Letter

Japan Physics Olympiad

No. 23 2019年3月

## CONTENTS

- 02 みなさんのチャレンジを楽しみにしています
- 03 国際物理オリンピック 2019 イスラエル大会に向けて
- 04 物理・科学普及を目指すプレチャレンジ活動
- 05 高専と物理チャレンジ
- 06 海外の物理オリンピック事情（ロシア）
- 07 物理チャレンジ OP の博士論文
- 08 物理チャレンジ OP たちは今…



### 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：2019年4月1日(月)～5月20日(月)  
WEB：2019年4月1日(月)～5月31日(金)  
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2019年6月14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2019年7月7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：2019年8月17日(土)～20日(火) 3泊4日

開催地：東京理科大学 野田キャンパス(千葉県野田市)

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2019成績優秀者の中から2020年にリトアニアで開催される第51回国際物理オリンピックの日本代表選手候補者を選出します。



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 HP: www.jpho.jp/

# みなさんのチャレンジを楽しみにしています



第1チャレンジ部会長  
高千穂大学 並木雅俊

## 物理の種

実験物理学者・寺田寅彦(1878~1935)は、身近なところに不思議を見つける達人でした。それは、「尺八の音響学(学位論文)」、「金平糖の角の数を決定する物理」、「漱石の句‘落ちざまに蛇を伏せたる椿かな’を力学で説明」からも推察できます。その他にも、「藤の実のはじけ飛び」、「キリンの縞模様」、「ガラスの割れ目」等々の謎にも取り組みました。いずれも視点がユニークであるばかりか考察が面白いので、寺田寅彦随筆集のご一読をお薦めします。

第1チャレンジの実験課題は、委員の先生方が、寺田のごとく、身近なところから題材を見出してきたものばかりです。これを、安価な材料で装置作成が可能な、物理学の基礎を問う課題としています。過去の課題の「楽器の製作」「お湯の冷め方」「氷の密度」「大気圧」「乾電池のエネルギー」「輪ゴムの伸び」などみなそうです。

## 実験課題は「終端速度の測定」です

### 水中を落下する物体の終端速度を測ってみよう

終端速度は、物体が同じ形であっても、大きさや密度によって変わります。どのように変わるのか調べてみましょう。

今年の実験課題は上に示したとおりです。空気や水の中を落下する物体は、重力によって加速されますが、物体の速度が増すごとに空気や水からの抵抗力が大きくなるために、十分に時間が経つと落下速度は一定の値に近づいてきます。重力と抵抗力が釣り合ったときの物体の速度を終端速度といいます(これらは「物理基礎」の教科書に書かれています)。

高級な装置を使ったからといって必ずしもよい結果が得られるわけではありません。これは高等数学からなる理論が必ずしも初等数学からなる理論より優れているとは限らないことと同じです。

みなさんがどのような装置を考え、工夫して測定し、不確かさを数値で表し、そしてどのような物理を考察するのかとても楽しみにしています。

参考のため、大学生の実験授業の作法を以下に示します。①知りたい現象に関する知識を深めること。②知りたい物理量を得るための方法を考えること。③思いつきではなくて、可能な限り推考してから実行に移すこと。③錯誤を見つけたら最初に戻って考えてみる。④些細なことでも、見落としがないか常にチェックすること。⑤測定によって現象が変化するならその程度を数値的にあたること。

また実験をするときは、必ず、実験ノートをつくってください。ノートは綴じてあるものの方がいいでしょう。レ

ポート用紙など散逸しやすいものはいけません。実験ノートは研究記録として唯一のものと考えられています。このノートに、実験日(曜日も)、開始と終了時間、天候、気温(可能なら、湿度や気圧も)などの基本事項を記しておきます(天候は、記憶の糸を辿るヒントになることもあります)。測定方法、測定条件、計算結果、それに実験中に気づいたことなどを書いてください。必ずしも、綺麗に整理して書く必要はありませんが、時系列に沿って記載してください。間違っして記入した箇所は、消しゴムを使わずに、二重線で消しましょう。

実験中にグラフを描く習慣も大切です。これによって、測定範囲あるいは測定点のきざみ幅が実験中にわかることが多いのです。グラフ化は、測定の全体像を教えてください。

## 理論問題コンテスト

今年の第1チャレンジ理論問題コンテストは、7月7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。ここ数年は、基礎基本の小問集、運動、熱、波、電気や磁気、原子と原子核、総合問題という問題構成になっています。基本問題から考えさせる問題までと難易も多様です。第1チャレンジの問題は問題集にある問題と違う視点でつくっています。満点をとることは難しいかもしれませんが、元気よくチャレンジしてください。

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

物理学は、理論と実験が互いに補いあってつくられている知の体系です。実験課題と理論問題コンテストを共に楽しんでください。

## 物理の畑

寺田は、文壇の人でもありました。第五高等学校で夏目金之助(漱石)に英語を学び、在学中に夏目宅での俳句の会に参加して以来の夏目門下生です。

寺田の随筆集に、  
棄てた一粒の柿の種／生えるも生えぬも／甘いも渋いも  
／畑の土のよしあし  
があります。物理チャレンジが、みなさんのための畑のよき土となるように願っています。

参加申込	開始 4月1日(月) 締切 郵送 5月20日(月)必着 Web 5月31日(金)24:00まで
実験レポート締切	6月14日(金)消印有効
理論問題コンテスト	7月7日(日)

# 国際物理オリンピック 2019 イスラエル大会に向けて



国際物理オリンピック派遣委員会委員長  
岡山県立岡山一宮高等学校 中屋敷 勉

## はじめに

IPhO2019 イスラエル大会の日本代表候補生 12 が、東京都八王子市に集い、2018年12月22日(土)から25日(火)にかけて冬合宿を行った。代表候補が選出されて直ぐの秋合宿に続き2回目である。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。特に実験は実習をしないことには研修にならないので、冬合宿は比較的実験研修にウェイトを置いている。しかし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るなど工夫している。そんな冬合宿の概要を報告したい。

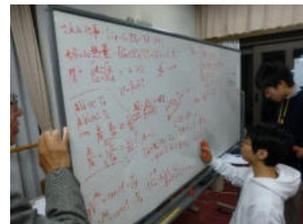
## 場所と日程

冬合宿は、高校の終業式が終わった12月下旬に3泊4日で行っている。会場は、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ている。セミナーハウスでは研修室での理論研修と宿泊、東京工科大学では実験研修を行っている。日程は以下のとおりで実施した。

日付	開始時刻	主な活動と内容(抜粋)
12月22日(土)	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) オシロスコープ, LED, 電気回路
	18:30	実験研修Ⅱ(2.0h) 添削解説, 誤差論とフィッティング
	21:00	入浴, 自由時間
	23:00	消灯, 就寝
23日(日)	9:00	実験研修Ⅲ(3.0h) IPhO 過去問(インドネシア, エストニア)
	13:00	実験研修Ⅳ(5.0h) IPhO 過去問(インドネシア, エストニア)
	19:00	実験研修Ⅴ(2.0h) OP による IPhO 過去問の解説
	21:00	入浴, 自由時間
	23:00	消灯, 就寝
24日(月) 祭日	9:00	理論研修Ⅰ(3.0h) 相対論の講義
	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) 量子論序論, 現代物理の講義
	21:00	入浴, 自由時間
	23:00	消灯, 就寝
25日(火)	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
	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24日に集中して行い、研修Ⅰは相対論の講義、研修ⅡはIPhO過去問(デンマーク)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は量子論と現代物理の講義などを行った。



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い、研修Ⅱは誤差論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(インドネシア, エストニア)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、IPhOインド問題の装置を組み立て、OP委員による解説を行い、その後、Ⅲ・Ⅳの解説を行った。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い、その後、交流会を行った。



事後アンケートによると、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・科学普及を目指すプレチャレンジ活動



プレチャレンジ部長  
岡山大学 原田 勲

### プレチャレンジとは？

物理オリンピック日本委員会（以下 JPhO）は「青少年に対して、物理に対する興味・関心を高め、またその能力の増進に寄与する事業を行い、以ってわが国の科学・技術教育の振興に寄与すること」を目標に掲げ、2012年から物理チャレンジ活動の一環として物理・科学普及活動、“プレチャレンジ”，を実施しています。この活動は、物理の楽しさを多くの中学生・高校生、中でも多くの女子生徒に知って頂くとともに、「物理ってなに？」という小学生の素朴な疑問・興味を育てるよう企画されています。

### Let's challenge and enjoy “PHYSICS” !

「人工衛星が一定の速さで地球を周回できるのはなぜ？」、「電子が原子核の周りを周回できるのはなぜ？」、このような一見異なった現象の理解を助けるのは一つの原理です。でも電子のような小さな物は、本当はその居場所、速度が“確率的”にしか分からないそうです。確率的ってなに？ 疑問が次々わいてきます。かの有名なアインシュタインさえ悩みました。

“物理って何か神秘的だけど難しそう”。そうです。物理を深く理解するのは易しくありませんが、努力すれば、系統的に学ぶ力が付けば、我慢強ければ、必ずあるレベルまで到達でき、神秘的な現象に迫れるのです。物理はそのような学問です。物理の学修は、問題を解くだけの領域を一步超えれば、大変興味深い物理現象とそれらを結ぶネットワークの存在に考えが及び、一つの現象の理解からそれまでぼやけていた多くの現象が次々はっきりします。この様なことを伝えたいのです。

多くの皆さんに“物理チャレンジ”に挑戦してほしい。第1チャレンジの理論問題は物理を楽しむ道への入口にふさわしい問題が用意されていますし、実験レポートは身近な現象に目を向ける第一歩となります。実験とは目的をもってある値を繰り返し測定し、それらから得られる結論をレポートにまとめる作業を言います。頭だけではなく、五感を総動員し、何かをやり遂げる楽しさを感じてほしい。これまで、物理は苦手と思っていた人の中にも、「あれ、意外に私は物理に向いているのでは」と思える人が出てくるのです。

### プレチャレンジ活動

プレチャレンジでは、物理・科学普及活動として、① 物理チャレンジや国際物理オリンピックの紹介、② 物理への誘い、また③ チャレンジで出題された過去の問題の実習・解説などを各地の高校や教育委員会と連携して開催しています。そして、これらの機会を通して、物理チャレンジへの参加を促すことは勿論、物理の楽しさを伝え、新しい物理教育を考える機会を提供しています。プレチャレンジは参加者の層に応じて、「高校生（中学生を含む）向け講座」と「高校教員向け講座」を開催しています。特に、各地の高校教員や教育委員会の方々との連携を大切にし、物理に興味を持つ高校生や中学生、さらには小学生にも「物理の楽しさ」を浸透させたいと願っています。

プレチャレンジ活動も最近かなり認知され、新しい局面に差し掛かっています。私たちは、これまでの活動を持続的なものにするため、次のような点にも重点を置き始めています。

1) ジュニアチャレンジ：プレチャレンジの土台となる小・中学生とその保護者たちに向けた啓発活動。2) 女子プレチャレンジ：高校などで物理を履修する女生徒の数が減った現状を打破するために、物理にも女性に適した分野があり、多くの女性研究者が活躍している現状を伝え、ともかく挑戦してみようと考えられる環境を作り出す企画。また、3) JPhOが持続的に発展するために、プレチャレンジにかかる費用の主催者負担のお願いです。

プレチャレンジを通じて、参加者が一つ上のレベルに挑戦し、将来世界に羽ばたいてくれることを願っています。本人が苦手と感じていることに敢えて挑戦することこそが自己改革への道だそうです。もちろん、失敗もあります。でもくじけないで、目標の妥当性の検証、失敗原因の考察を行うことにより、知らぬ間に一つ上のレベルに到達し、進歩することを説明しています。



プレチャレンジの一場面

### さあ、物理チャレンジへ、そして国際物理オリンピックへ！

現代はあらゆる分野で先が読めない場面に出会うことが多いですが、その時こそ基礎的な思考展開が必要であり、物理的思考が重要です。このような思考は研究の場面では常であり、それらに精通した物理教員が今こそその教育に参加するときです。物理チャレンジやプレチャレンジで多くの生徒と研究者が出会い、参加者がそれをきっかけに自然な形で物理に興味を抱き、研究者の思考過程を感じることこそが科学者への第一歩です。物理チャレンジ経験者の多くの皆さんも、プレチャレンジ活動に加わっています。彼らの生々しい経験談や今感じていることを「プレチャレンジ」に参加して聞いてみましょう。そして、一歩踏み出す勇気を持って物理チャレンジへ、そして国際物理オリンピックへ挑戦しましょう。

興味のある高校、大学の先生方、そして生徒の皆さん、是非一度、JPhOのホームページをご覧になり、私たちに声をかけてください：<http://www.jpho.jp/prechallenge.html> プレチャレンジ部会も、単に広報にとどまらず、科学の普及や科学の楽しみかたを伝授することを目指して活動を続けます。

## 高専と物理チャレンジ



第1 チャレンジ部会／派遣委員会実験研修部会  
津山工業高等専門学校 佐藤 誠

### 高専という教育機関の特徴

物理チャレンジの普及活動に絡めて国立工業高等専門学校（高専）で物理の教職についている立場から高専と物理チャレンジの関わりについて述べたいと思います。

高専は基本的に工業系のコースや学科で構成されているので、物理の学習（特に力学）は必修です。3年生までに微分方程式としての運動方程式を学習します。減衰振動解を求める程度までの初歩的な計算ができることを要求します。また、慣性モーメントや、回転の運動方程式を学び剛体の力学の入り口まで進みます。学科にも依りますが工業力学、熱力学、流体力学、電磁気学の入門編を一通り学習します。力学だけをとりだしても同年代の平均的な高校生が学ぶ内容からは少し進んでいるうえに選択科目ではありませんので、中には物理の学習に困難を感じる学生が出てくるのは致し方ないことかもしれません。一割程度の学生は基礎物理関連科目の単位を修得できません。大学受験をするわけではないので、受験問題集に取り組む必要はなく、演習量が普通高校と比べ少ないことを嘆く高専物理教員も少なからずいます。学生は定期試験で単元毎のテストを受けることが主になりますので、学習は個別の基本的な概念の理解とその利用に限定される傾向があります。総合的に複数の概念を組み合わせた問題を解くのは苦手です。

高専生が第1 チャレンジの理論問題のようなペーパーテストで高校生と互角に競うことは難しいと思います。そのような訓練をしていないからです。個々の学生の能力を高めることはもちろん必要なことですが、高専ではそれに増してチームとして能力を発揮させることを意識して教育をしています。チームで行う実験や実習が多く、学生はレポート提出で日々追われていますが、互いに教え合い助けあってなんとか切り抜けているようです。高専と言えば「ロボコン」が代名詞になっているようですが、実は、ロボコンに関わる学生はごく一部の限られた学生で、大多数の学生はあまり関心がありません。しかし、ある意味、ロボコンは高専教育を体現している活動と言えます。チームのメンバーがそれぞれ得意とする技術を持ち寄ってとにかく動くものを作り上げるというのは、高専の学生に標準的に観察される典型行動のように思われます。頭より手足という語弊があるかもしれませんが、下手に理屈をこね

るよりやったもの勝ちが高専学生の特性のようです。そのためか実験のセンスは高いと感じています。専門科目の実験実習でもに触れる機会が多く、鍛えられているためかもしれません。私が担当する物理授業中の学生実験では細かな指示なしに自立的に工夫して測定できる学生が多いので教える方は助かっています。実験研修部会でお手伝いさせていただいた経験からも、実験への取り組みに関しては派遣選手候補生と遜色ない学生が高専にはざらにいる印象です。

そうは言っても、物理を教える側としては、例えばセンター試験のようなペーパーテストでもすべての学生が高い得点をマークできるように物理を習得して欲しいという思いを持って日々奮闘しているのが実情です。

### 高専生の参加を促すには

残念ながら高専の学生が第2 チャレンジに駒を進めることは初期のころを除いて無いようです。高専のイベントが第1 チャレンジ理論問題試験日と重なることが多く、参加し辛いのも理由ですが、網羅的な試験に不慣れなことが大きいと思います。高専生の参加を増やすことを期待すると、チームで取り組む課題（実験も理論も）で競わせてもらえればと思います。高専には女子も結構な割合で入学してきます。しかも、ほぼ全員「リケジョ」のたまごです。女子学生の参加を増やす一つの解として、高専学生が参加し易いチーム戦を取り入れるのも一考ではないでしょうか。国際大会は個人戦なので物理チャレンジの開催目的にそぐわないのですが。

物理の方たちは概して権威を好まないのも、賞を与えるために競わせることや、評価して序列を付けることに熱心ではないようです。学校間で物理を題材に競技を行うのは不謹慎と捉える方もおられるかもしれません。スポーツの世界や、音楽やダンスなど芸術の分野では、競技として学校間で競うことはむしろ奨励され、教育のひとつの形態として成立しています。物理の世界でも同様の取り組みの工夫があれば、より一層物理を楽しむ文化が育まれるのではないかと期待します。

# 海外の物理オリンピック事情 (ロシア)



IPhO 派遣委員会・理論研修部会長  
河合塾 杉山 忠男

## ロシアにおける物理オリンピック

海外で物理教育と国際物理オリンピックの代表選抜がどのように行われているかを示す 1 つの例として、ロシアの場合を説明したい。この報告は、ロシア物理オリンピック (RPhO) の責任者の一人であるモスクワ物理工科大学 (MIPT) の Alexander Kiselev 教授との私信のなかでもたらされたものであり、彼の許可を得てここに紹介する。

## ロシアの教育課程

ロシアにおける代表選抜は、その教育制度と密接に結びついているので、ロシアの初等・中等教育、および高等教育の制度と合わせて簡単に説明する。ロシアの初等・中等教育は全体で 11 年間あり、小学校の 1 年生から、第 1 学年、第 2 学年、・・・となり、第 11 学年で終了する (図 1)。高等教育機関としての大学は、4 年間ないし 5 年間の学部、2 年間の修士課程、3 年間あるいは 4 年間の博士課程からなる。



図 1 ロシアの初等・中等教育

## ロシアにおける代表候補者の選抜

ロシアでは、各学校段階から何段階にもわたって実施される優秀な生徒を選抜する過程があり、最終試験は 4 月に行われる。IPhO, APhO のロシア代表は、第 10 学年の最終試験で選抜され、代表候補となる。特に優秀な生徒は、第 9 学年の最後に、第 10 学年の最終試験を受けて代表候補者になることができる。

代表候補者には、その後 1 年間かけて大学 1、2 年生レベルの物理学を含めた研修が施され、その中で徐々に人数が絞られて、翌年の 2 月、代表 8 名が選ばれて APhO に参加する。最終的にその上位 5 名が IPhO に参加する (図 2)。

代表候補者に対する 1 年間の研修では、自宅で行う 5~8 個の課題が課される。また、候補者はシリウスと呼ばれる才能教育の学校に集められて講義を受け、ゼミを行い、さらに実験研修を受ける。

RPhO での IPhO 代表の選抜過程は、ロシアの教育課程に基づいて組織化されている。日本においても、中等教育に根差した組織的な選抜過程の構築が、JPhO に課せられた今後の課題でしょう。

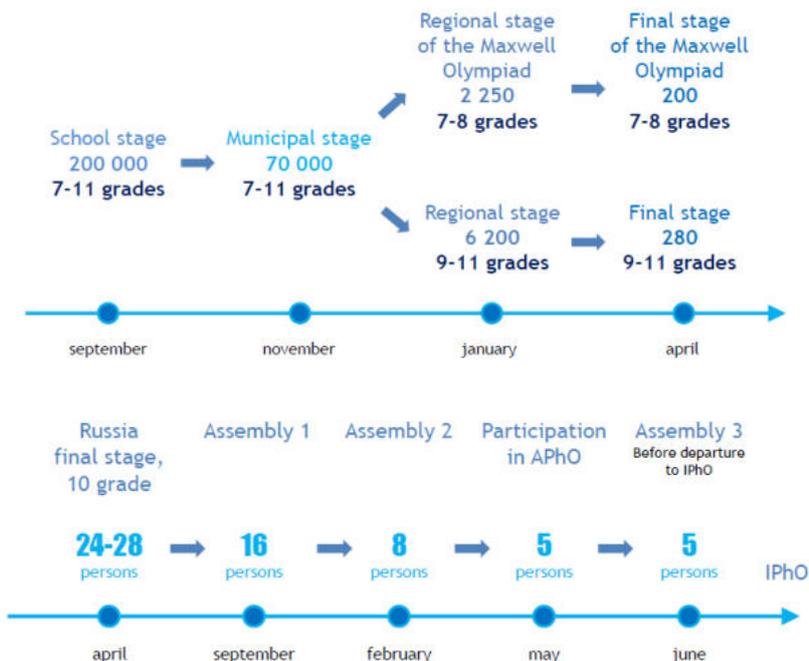


図 2 ロシアにおける物理オリンピックの選抜

# 物理チャレンジ0Pの博士論文 –開放系における量子多体物理–



物理チャレンジ2008–2009, 国際物理オリンピック2009参加  
 東京大学大学院理学研究科物理学専攻 博士課程3年 蘆田 祐人

## 開いた物理系 –量子多体物理学の新たなフロンティア–

身の回りにある物質の中では多数の電子と原子が量子力学に従って相互作用している。このようなマクロな大自由度系を量子多体系と呼ぶ。近年、量子多体ダイナミクスを1原子レベルでマイクロに観測/制御する技術が量子気体系において実現した。このように系のマイクロな情報が得られる場合、その代償としてハイゼンベルクの不確定性関係に起因する測定の反作用がダイナミクスに本質的な影響を及ぼす。マイクロな運動の詳細は観測/制御できないという仮定のもとに成立してきた従来の多体系の枠組みは、このような状況では破綻し、異なる一般原理に基づいた基礎理論が必要となる。つまり、量子多体系の単一原子制御技術は統計力学・物性物理学を研究するための新しい舞台を提供していると言える。

本論文ではマイクロな観測/制御下の量子多体系の物理を探索し、開いた量子系における多体物理の新たなフロンティアを開拓することを目指し研究を行った。

## マイクロな観測下でのマクロ量子系の振る舞い

量子多体系の顕著で重要な巨視的性質として量子臨界性、非平衡ダイナミクス、そして熱化現象が挙げられる。私はこれら基礎的側面に着目し、マイクロな自由度の測定の反作用に伴い、従来の理論的枠組みがどのように拡張されるべきか、そこで新しい現象としてどのようなものが発現するかを明らかにした。まず、量子系がそのマイクロな詳細によらずに示す普遍的な性質 –量子臨界性– を、2016年のノーベル物理学賞の対象にもなったコストリッツ-サウレス理論の枠組みを開いた系に拡張することで研究した。これにより閉じた系に類のないくりこみ群固定点/流れなど、開いた系特有の新しい量子多体現象が生じることを発見した (図 1A) [Ashida, Furukawa & Ueda (2017)].

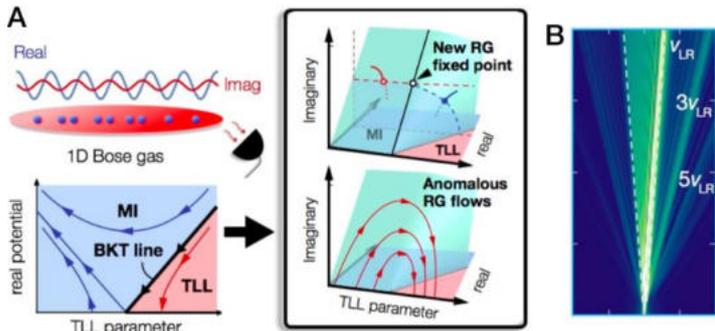


図 1. **A** 開いた系の量子臨界現象. 非従来型のくりこみ群固定点/流れが生じる [Ashida et al., Nat. Commun. 8, 15791 (2017)]. **B** 測定の反作用で誘起される、従来の速度限界を超えた相関の伝搬 [Ashida and Ueda, Phys. Rev. Lett. 120, 185301 (2018)].

次に、開いた系の非平衡ダイナミクスに着目して研究を行った。非平衡量子ダイナミクスの研究は、これまで主に外界から隔絶した閉じた量子系において精力的に研究されてきた。これに対して私は、環境との結合により、閉じた系で良く知られた速度限界を超えた相関の伝搬が生じ得ることを示し、非平衡ダイナミクスにおいても開いた系特有の現象が発現することを明らかにした (図 1B) [Ashida & Ueda (2018)]. さらに非平衡ダイナミクスの後に生じる熱平衡状態への緩和現象 –熱化– における測定の反作用の役割を研究し、従来の統計力学の枠組みが開いた量子多体系でどのような修正を受けるかを明らかにした [Ashida, Saito & Ueda (2018)].

## 環境と強く接合した量子開放系

上記の研究では外界環境との結合が比較的弱くメモリ効果が無視できる近似 (ボルン-マルコフ近似) が成立することを仮定していた。一方で、環境と系の間の相互作用が強い場合にはダイナミクスが本質的に非マルコフとなるため、環境の自由度まで陽に含めた記述が必要となる。そのような環境と強い相関を持つ量子系の多体物理について次に研究を行なった。

特に、局在スピンと環境間の量子もつれを解く新しい正準変換を発見し (図 2A)、量子情報で知られたガウシアン状態と組み合わせる事で、一般の量子不純物系に適用できる画期的な変分法を開発した [Ashida, Shi, Banuls, Cirac & Demler (2018)]. 強相関系の最も基礎的な系である近藤問題において、最先端の計算手法 (MPS) と比較し、2-3桁少ない変分パラメータでMPSと同等の精度が平衡・非平衡領域の両方で達成された。さらに、従来のMPSでは計算が困難であった長時間領域のダイナミクスの計算にも成功し (図 2B)、予言されたダイナミクスを冷却原子で実験的に検証するための提案も行った。これらは強相関系の新しい高効率な計算手法を与えると期待される。

現実に存在するいかなる量子系も環境に結合されている以上、開いた量子系の理解の重要性は明らかである。飛躍的な量子制御技術の発展に伴い重要性をさらに増している量子物理学の研究に、今後も最前線で取り組んでいきたい。

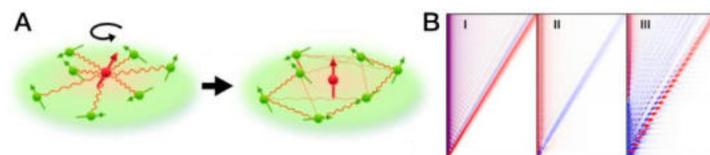


図 2. **A** 量子スピンと環境の量子もつれを解く新しい正準変換. **B** 近藤系の非平衡量子多体ダイナミクス [Ashida et al., Phys. Rev. Lett. 121, 026805 (2018)].

## 物理チャレンジOP たちは今... 「ロボットの頭脳を作ってます！」

物理チャレンジ 2007-2008, 国際物理オリンピック 2008 参加  
株式会社 Preferred Networks 松元 徹一



私は大学院を出た後、Preferred Networks というスタートアップ企業に就職して働いています。Preferred Networks は機械学習の技術を活かして製造業、交通システム(自動運転)、医療などの領域でビジネスを行っている会社です。私はその中でロボットの“視覚”にあたる画像認識技術を中心に研究開発を行っています。

機械学習とは、コンピュータに、たくさんのデータからそれを良く説明するようなモデルを学習させ、そのモデルを使って未知のデータに対して何らかの予測を行ったり、新たなデータを生成したりといった技術を扱う学問分野です。身近なところでは文字認識や音声認識、画像の加工ツール、自動車の運転補助など様々な応用がなされています。一見物理学と離れていそうなこの分野にどうして進んだのか、そして機械学習を使ってどのような仕事をしているのかを簡単にお話したいと思います。

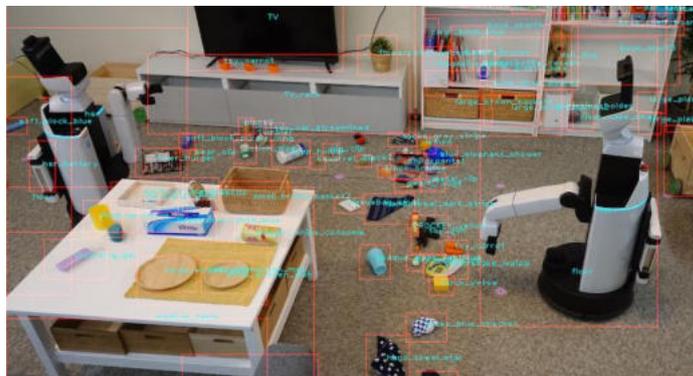
### なぜ機械学習の道に進んだか

私は小さい頃からコンピュータに興味があって、学生時代は物理オリンピックとともに情報オリンピックなどのプログラミングコンテストに参加したりもしていました。大学では物理学科に進学し、物理と情報の両方の技術が活かせるコンピュータシミュレーションを学び、「ゆくゆくは人間の頭脳がシミュレーションできたら面白いだろうな」と夢見ていました。最初に機械学習を真剣に学んだのは大学 4 年生のときで、研究室に置いてあった機材を組み合わせて宇宙線観測機を作り宇宙線のエネルギーや飛来方向の分布を求める実験を行ったところ、完全にノイズにしか見えないような結果が得られてしまい途方に暮れたときでした。この結果を解釈するためには、宇宙線が装置に当たってからセンサの出力に変換されるまでの過程を考察し、各過程に関与する物理パラメータをデータをもとに決定する必要があります。この時に目をつけたのが膨大なデータから意味のある情報を抽出する機械学習の技術で、途端にその面白さに惹き込まれていきました。奇しくもちょうどその頃はディープラーニングという機械学習分野のブレイクスルーが話題になり始めた時期で、修士課程ではこれを研究テーマとして選び、今に至るまでその研究やアプリケーションの開発を続けています。

### お片付けロボットシステムの開発

最近会社で取り組んだ仕事の一つである「お片付けロボットシステム」を紹介したいと思います。こちらは CEATEC JAPAN2018 という展示会に出展したもので、ロボットが自動で部屋に散らかった物体を片付けたり、「リモコンはどこ？」といった人間の質問に答えるなどのコミュニケーションをするデモンストレーションです。

現在世の中で使われているロボットの多くは、環境や問題を限定することで、正しく動作することが出来ます。市販の掃除ロ



部屋に散らかった物体の位置や種類を認識している様子  
(<https://projects.preferred.jp/tidying-up-robot/>より)

ボットは動かす前に床の上の物を片付けておかないといけませんし、工場で活躍する産業用ロボットは扱う物体の位置や種類、照明条件などをコントロールする必要があります。しかし、散らかった部屋を片付けるという課題においては、今までにない高いバリエーションの環境下で動作する必要があります。家庭内には非常に多くの種類の物体がありますし、物体同士が重なっていたり、布が畳まれていたり、その置かれ方も様々だからです。

このプロジェクトで私が取り組んだのは、カメラで撮られた画像から、部屋のどこに何の物体が落ちているのかを予測させる画像認識エンジンの開発です。ゴミをゴミ箱に、ペンはペン立てにと正しく片付けを行うためには物体の種類を認識できる必要があります。また、ロボットが物を掴むためには、その形も分かっているといけません。そこで、膨大なデータから、背後にある規則を自動で獲得できる機械学習が力を発揮します。

機械学習を行うためには、まず訓練用のデータを集めます。部屋に物を散らかした写真をたくさん用意して、それに対してどこに何が落ちているのかという「正解」をラベル付けします。次に、画像を入力したら、それに対してどこに何があるのかを出力するようなモデルを構築します。物理学で使うモデルは物理法則から導かれたきちんとしたものが多いですが、ここでは大量のパラメータを持っていてあらゆる関数を表現できるような汎用的なモデル、特にディープニューラルネットワークと呼ばれる、脳の神経回路を模したようなモデルを用いました。そして、このモデルのパラメータを、訓練データによくフィットするように最適化します。こうして学習したモデルによる予測結果の一例が上の画像です。この出力をもとに、ロボットは、どの物体をどのように掴むかを計画したり、人間の質問に答えたりすることが出来ます。

このような技術を今後さらに発展させ、ロボットがもっと一般に普及し、誰もが簡単に利用できるようになる未来を作ることを目指しています。