

JPhO News Letter

Japan Physics Olympiad

No. 14 2016年3月

CONTENTS

- 02 物理オリンピックと物理教育
- 03 物理チャレンジ 2016 始まる
- 04 まずは第1チャレンジに参加しよう
- 05 第2チャレンジ理論問題のねらい
- 06 第2チャレンジ実験問題のねらい
- 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…

物理チャレンジ2016 いよいよ始まる

第12回全国物理コンテスト

物理チャレンジ2016



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。

参加費 無料








参加者募集!!

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：2016年4月1日(金)～5月23日(月)
WEB：2016年4月1日(金)～5月31日(火)

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(2016年6月17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(2016年7月10日(日) 全国一斉 90分間)約80名編

※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夏季練習会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ばれた約100名が、理論問題と実験問題にチャレンジします。

会期：2016年8月19日(金)～8月22日(月) 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、研究施設見学など

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2016最終優秀者の中から2017年にインドネシアで開催される第48回国際物理オリンピック日本代表候補者を選出します。



物理オリンピック・物理チャレンジと物理教育



特定非営利活動法人物理オリンピック日本委員会 理事
東北大学大学院理学研究科 須藤 彰三

私は現在、本会理事として、また日本物理学会物理教育委員会委員長として活動しております。ここでは、物理オリンピック・物理チャレンジへの期待と物理教育に関して、私見も交え述べさせていただきます。

ワルシャワでの物理オリンピックとの出会い

私が、初めて「物理オリンピック」という言葉を耳にしたのは、2002年夏、ポーランドの首都ワルシャワでした。私の共同研究者の家に招かれた時に、「息子が、今度物理オリンピックの代表に選ばれたよ」という誇らしげな会話の中ででした。1967年に第1回大会がワルシャワで開催されたこと、その後2回開催されたこと、科学界の英雄としてコペルニクスやマリー・キュリーがいても若者の興味が科学に向かないこと、加えて、開催当時の社会主義国家の価値観として、バスや電車（トラム）の運転手（労働者）の方が科学者（知識人）よりもはるかに高い評価（給与）を得ていたという現実等、開催の背景となる多くの話題が提供され、あまりにも日本と違うことに驚いた記憶があります。

その後、直接「物理オリンピック」に関与する機会がなく、新聞等で、2006年大会から日本も参加していること、毎年の獲得メダル数等を目にする程度でした。再び、深く関与するようになったのは、4年前、日本物理学会物理教育委員会の活動に参加するようになってからです。現在、JPhO 副理事長の長谷川修司先生、理事で派遣委員会委員長の田中忠芳先生にも参加して頂き、活動内容を報告して頂いています。日本物理学会は、本会の活動に可能な限りの支援をしようという方針のもとに活動しているからです。

活動報告の中で見えてきたものは、物理オリンピックは人類の普遍的な目標を見出して、大きく発展している現実です。第一に挙げられるのは、メダリストへの栄誉でしょう。帰国後、文部科学大臣に直接報告することは、とても大きな自信になります。第二には国際交流の促進という目標が挙げられます。各国は独自の教育方法、教育制度を持っています。参加学生と付き添いの教員が、交流を通して各国の取り組みを知るのとはとても良いことです。異文化に触れた時に、人間の知識や技術が大きく発展することは、歴史の教えるところです。1980年代から90年代前半にかけて、欧米に出張の折、新聞を読むのが楽しみでした。日本の教育方法・制度を高く評価した記事でいっぱいでした。ジャパン・アズ・ナンバーワン(Japan as Number One: Lessons for America)という本も出版されました。その教育方法・制度は、常に発展しています。その流れを明確に意識し、発展させなければいけません。日本は、その取り組みを、成功の後で少し怠けたように、私の目には映ります。私が初めてワルシャワで聞いた時の会話は、もう忘れて良いのでしょうか。しかし、開催を企画した人の個人的な、ポーランドを良くしたいという切実な欲求が大きく世界を動かしたことを忘れては、いけません。

第三の目標に挙げられるのは、物理チャレンジでしょう。このように多くの先生方が、情熱を持って活動しているとは思いませんでした。第1チャレンジ、第2チャレンジと良い

問題を丁寧に作成し、生徒を指導しているのは予想外でした。大学入試のように、1回の選抜で代表選手を決定していると考えていたからです。また、物理チャレンジ2015参加者も1945名で2000名に届こうとしていることは、とてもうれしいことです。

物理教育と物理チャレンジ

私は山形県の出身で、大学も隣県にある東北大学に進学し40年以上を過ごしてきました。高等学校には、文部科学省検定の教科書があり、授業も画一的な内容になっていると考えていました。4年前から、物理教育委員会に参加して驚きです。首都圏の先生方が、いくつかのグループに分かれて、とても良い教育法の開発に努めているからです。私の以前の考え方は間違いで、進んだ教育法に従うと、教員の創意工夫で高校生でも自然（物理）現象の本質的な理解が可能だということが分かりました。大学の授業にも滑らかに接続する内容になっています。

各県には教育委員会があり、そこで閉じた教育内容をつくり上げています。物理チャレンジ参加者は、そこで出題される良問、良い指導を通して、各県を乗り越えた日本全国の物理教育の質の向上に寄与できるのではないかと考えています。そのためには、多くの参加者が必要です。物理チャレンジ2015報告書を見ると、山形県の参加者は1名であり、少し残念な気がします。優秀な学生は、日本全国に居ますから。その才能を伸ばす手助けをしてあげたい気持ちで一杯です。

昨年、ポーランド物理学会からの招待で、ポーランドを再び訪問する機会がありました。首都ワルシャワと地方都市キエルツェを訪問し、講演を行いました。驚きです。ものすごい経済発展をしていて、ここ13年でこんなにも国の形が変わるのかという感慨を持ちました。これからの日本という形をどのようにして行ったら良いのでしょうか？

キエルツェでは、ヨーロッパ物理学会の会長、および構成する10学会の会長と懇談する機会がありました。その席で、ポーランド物理学会長に、物理に興味を示す学生が増えたでしょうと質問したところ、「いいえ」という返事でした。「こんなに工場ができたのに？」、「ポーランドには、物理を必要とする産業がないから。」会話を通して、物理オリンピックを初めて開催した国の誇りを感じながら、さらなる発展を期待する願いを感じました。



国際物理オリンピック2015インド大会での表彰式

物理チャレンジ 2016 始まる



物理チャレンジ 2016 実行委員会委員長
元東北大学 近藤 泰洋

全国物理コンテスト物理チャレンジ 2016 がいよいよ始まります。2005年に始められて以来12回目となりますが、第1チャレンジには多くの高校生、中学生、さらには小学生の皆さんの参加を期待しています。第1チャレンジの理論コンテスト、実験レポートの総合成績で参加者から約100名を選抜、第2チャレンジに挑戦して頂きます。

●参加申し込み

郵送による申し込み 4月1日(金)～5月23日(月)

WEBによる申し込み 4月1日(金)～5月31日(火)

第1チャレンジ

●理論問題コンテスト

理論問題コンテストは7月10日に全国各地の会場(募集要項やHPに記載)にて開催します。コンテストでは参考書、教科書、ノートなど参考資料(電子機器を除く)を持ちこむことができます。昨年の問題については本レターに結果の分析や解説が記載されていますし、これまでの理論問題コンテストの過去問やそれらの解説もホームページに記載されていますので、参考になるでしょう。

●実験レポート

今年の実験レポートの課題は既にホームページに記載されていて、レポート提出の締め切りは6月17日(金)です。

2016年第1チャレンジ実験課題

『単3乾電池1本から取り出せるエネルギーの総量を求めよう』

エネルギーにはいろいろな形態がありますが、電池の中には化学エネルギーとして蓄えられています。このエネルギーを



測定可能なエネルギーとして取り出し、総量を求めて下さい。

例えば豆電球を光らせたり(光と熱エネルギー)、モーターを回したり(運動エネルギー)、ヒーターで物を温めたり(熱エネルギー)することができます。測定方法を考えて取り出せるエネルギーの総量を求めましょう。条件を変えたり、測定回数を多くして誤差を小さくするなどして調べてみましょう。

今年は、今までと違って、共同実験者の人数を4名以下とする制限があります。また、これまでは配点の通知だけでしたが、昨年からの実験レポートの優れた点や改善すべき点など具体的な指摘を参加者に知らせることを始めました。今年も同様な作業を予定しています。

第2チャレンジ

第1チャレンジの理論問題コンテストと実験レポートの総合成績で全国大会・第2チャレンジへ進む約100名が選抜されます。今年の第2チャレンジは8月19日(金)～22日(月)まで千葉県野田市の東京理科大学で開催されます。

19日: 集合・オリエンテーション・実験試験(5時間)

20日: 理論試験(5時間)・フィジックスライブ

21日: 柏市の東京大学の研究所見学・研究者との交流会

22日: 表彰式 金賞, 銀賞, 銅賞, 優良賞の授与

高校2年生以下の成績優秀者の中から、来年の国際物理オリンピック2017インドネシア大会日本代表選手候補者約10名が選抜されます。

以上、国際物理オリンピック代表候補選抜までの過程を簡単に紹介しましたが、第1チャレンジ参加だけでも、学校での学習とは違った経験ができるのではないのでしょうか。多くのチャレンジ参加者を期待しています。



2015年第2チャレンジ実験コンテスト。床に部品を並べて実験に取り掛かるチャレンジャー

第1チャレンジに参加して、目指せ 物理オリンピック



第1チャレンジ部会長
埼玉大学教育学部 近藤 一史

今年はオリンピック・イヤー

2016年はブラジル・リオデジャネイロでオリンピックが開催されます。4年後の2020年には東京でオリンピックが開催されます。オリンピックは、スポーツ最高の舞台であり、そのスポーツがオリンピック参加種目であると、選手にとって大きな励みになっています。スポーツでは、「試合」「大会」といった日頃の練習の成果を発揮する場があり、オリンピックやワールドカップがその最高峰となっています。

では、科学系のクラブ・部活はどうでしょうか？ 地域の研究発表会や、都道府県で開催される理科の研究発表会が「試合」「大会」にあたります。そして、オリンピックにあたるのが、国際科学オリンピックです。もちろん、日本が参加している科学オリンピックには物理オリンピックがあり、今年2016年は日本が参加して11回目となります。そして、物理オリンピックに参加するための、予選会にあたるのが「物理チャレンジ」です。

物理チャレンジ2016に参加しよう

物理チャレンジは、物理オリンピックへの予選会にあたりますが、物理オリンピックへの出場権取得を優勝とするならば、物理チャレンジへの参加は、いきなり準々決勝となります。だからといって、特に参加資格はありません。物理チャレンジには、誰でも気軽に参加することが出来ます。物理という科目を学習していない中学生も毎年数名は参加していますし、小学生が参加した年もありました。また、個人参加ですのでメンバーを募る必要もありません。

まずは第1チャレンジ実験課題から

物理チャレンジは、第1チャレンジと第2チャレンジに分かれています。第1チャレンジの成績上位者約100名が第2チャレンジに進出します。まず、第1チャレンジにチャレンジ！

また、第1チャレンジでは、実験レポート課題と理論問題コンテストの2課題があります。実験は、どこでも、いつ行ってもかまいません。実験を行ったら、ホームページやポスターに記された実験課題レポートの書き方に従ってレポートを作成して、6月17日（金）までに郵送します。

理論問題コンテストは、7月10日（日）に、全国（昨年は82箇所）で一斉に実施されます。参加者が多い場合は、自分の学校が会場になることもあります。理論問題コンテストの出題範囲は、ポスターにも記してありますが、高等学校の物理の範囲を中心に、中学生でも解ける問題や、教科書にない最新の問題まで、参加者が楽しめる出題を目指しています。会場には資料（教科書、参考書）を持ち込むことができ、マークシート方式ですので、気軽に参加できるのではないのでしょうか。

実験レポート課題が解禁 初の電気関係の問題です

第1チャレンジ 実験課題

単3乾電池1本から取り出せる エネルギーの総量を求めよう

乾電池を使って、例えば、豆電球を光らせたり、モーターを回したり、ヒーターで物を温めたりすることができます。測定方法を考えて、取り出せるエネルギーの総量を求めましょう。また、条件を変えて調べてみましょう。

<安全上の注意>

短絡（ショート）すると電池が発熱したり破損したりするので、短絡させないでください。また、火傷、液漏れなどを起こさないように注意しましょう。

今まで、電気に関する実験課題は出題されませんでした。電気の実験では、電流計、電圧計が必要になることがあります。そうすると、学校の理科室などを利用しなければなりません。どこで実験してもよいとしているのに、実験場所が制約されることから、電気に関する課題は見送られてきました。近年、デジタルテスターが1,000円以下で、ネットを利用して全国どこでも入手できるようになってきました。そのため、電気に関する実験を課題としても、理科室以外で実験できるだろうということで、今年度は電気に関する課題を出題しました。

しかし、「エネルギー」を求める課題ですから、必ずしも電流、電圧計を使用しなければならないという訳ではありません。例えば、電池に電熱線をつないで水を温めます。暖まった温度と水の質量を測定し、『理科年表』で水の比熱を調べれば電池が水に与えたエネルギーを測定することができます。また、電池にモーターをつないで、物体を持ち上げる仕事をさせて、そのエネルギーを求めることもできます。ただし、電池を高いところから落としたり、何かにぶついたりするようなエネルギー測定の実験は遠慮して下さい。

電池の製造メーカーが、電池のエネルギーの値を公表していますが、私たちは、メーカーの値に近い実験値が得られたかどうかではなく、電池からどのようにエネルギーをとりだして、それをいかにして測定したか、いろいろな工夫・アイディアを楽しみに待っています。また、実験レポートでは、実験の方法や結果がきちんと記載されているかどうかを重視して評価します。皆さんの参加をお待ちしています。

なお、物理オリンピックは、4年毎ではなく、毎年開催されています。昨年参加した人も、また参加して下さい。

第2チャレンジ理論問題のねらい

理論問題部会長
元岡山大学 東辻 浩夫



問題作成でめざすこと

第2チャレンジの理論問題の作問部会は、何をめざし、どのように考えて問題を作成しているか、を述べたいと思います。理論問題作成は多くの人々による共同作業ですので、以下の多くを部会の先生方と共有しているとは思いますが、小生の個人的な考えが含まれているかも知れません。

問題は、もちろん、まず、国際物理オリンピックに向けて、物理の理論的な力をできるだけ正しく判定できることを目的とします。基本の理解・記憶は必要ですが、広範な記憶よりは、基本から出発して考える力を重視します。実験との比較が重要であり、数値の扱いにも留意してほしいと思います。また同時に、解いてみて、「物理は楽しい、面白い、わくわくする」と感じられ、物理の魅力が伝わるような問題にしたいと考えています。実施後にはチャレンジャーへのアンケートや解答状況も参考に検討しています。

「楽しさ」には2種類あると思います。一つは、日常よく見かける、あるいは経験するが、どうしてかな、と思っていた現象について、「なるほど」と納得することです。もう一つは、報道などから興味をもった発見や道具について、その意味や原理が、自分がこれまでに学んだことの上で「なるほど」と理解できることではないかと思えます。

2種類の「なるほど」

例えば、虹にはどうして色がつくのか・色がつかない虹もあるのか、100m上がると気温が0.6度下がる、フェーン現象で気温が高くなるのは何故か、また、長い電線の先につないだ電球は、見える範囲ならば手元でスイッチを入れれば（感覚的には）遅れずに点灯すると確信できるが、100kmも200kmも離れたらどうか。これらは第2チャレンジの範囲で理解でき答が出ます。これらの例は第一の「なるほど」です。

宇宙の膨張が加速しているという観測事実の確立に2011年度ノーベル賞が授与されました。これを真空のエネルギーで説明する理論があります。宇宙膨張の概念、スペクトルの

赤方偏移の理由から始めて、確かに、そうらしいと理解してもらえるように考えた問題がありました。また、放射源の方向が見えるガンマ線カメラの原理は何か、などは第二の「なるほど」の例です。

やはり国際物理オリンピックを意識して問題作成

問題の内容は高校の物理が基本ですが、国際物理オリンピックという目標がありますので、時として、その過去問やシラバスも参考にします。基本に収まらない新しいことが出てくるときには、高校物理を基礎として理解解答できるように、誘導やヒントを付けることとなります。

一方、国際物理オリンピックの問題では、誘導にあたる部分が比較的少ないように思えます。われわれも理想的には、例えば面接のように、一人ひとりに時間をとり、はじめ、いきなりやや難しい問いを出し、どのように取り組むかに応じて臨機応変に誘導できれば、挑戦者ともども、より満足できると思うことがあります。現在の形式の範囲では、題材とともに、チャレンジャーの解答の道筋にどのように干渉するのが適当か、悩ましいところです。

第2チャレンジの段階でも、チャレンジャーの力には非常に大きな幅があります。高校物理の範囲で解答可能であることが基本ですが、できれば、かなり力のあるチャレンジャーにとっても歯ごたえがあってほしいという意味で、少し難しめの「骨」を敢えて含めることもあります。

作成に携わるのは理科教育の振興に深い関心をおもちの先生方ですが、同時に、題材についての物理の議論そのものを大いに楽しんでます。長時間の試験を課しておいて、とお叱りを受けるかもしれませんが、チャレンジャーのみならず、この現象はそう考えればよいのかと納得すると同時に、別の見方もありそうだけど問題でその見方を勧めていないのは何故か、もってまわった表現だけで作題でこの辺が議論になったのかも、有効数字を気にした問題だな、問題文の末尾が出題の意図らしいぞ、などと想像して、楽しんでほしいと思います。

2015年第2チャレンジ表彰式



第2チャレンジ実験問題のねらい

実験問題部会長

東京学芸大学 松本 益明



実験を重視している物理チャレンジ

物理や化学などの自然科学系のオリンピックでは、理論問題だけでなく実験問題も出題される。国際物理オリンピック (IPhO)での配点は理論が30点、実験が20点と若干理論の方が高いとはいえ、実験もかなり重視されていると言える。国内で行われている物理チャレンジにも実験問題があり、第2チャレンジにおいてはIPhOと同様に5時間もの長時間、下に示した写真のようなブースの中で孤独な実験に挑戦しなければならない。各ブースは完全に壁で囲まれているため、周りのチャレンジャーが行っている様子をちらっと見ることもできず、すべてを自分で考えて結果を出さなければならない。なかには何をすればよいか分からず途方に暮れているチャレンジャーもいたようである。

物理チャレンジでは第1チャレンジでも実験課題レポートの形で実験が課せられているが、これは他の自然科学系オリンピックにはない特徴である。私が第1チャレンジの採点に初めて参加したのは2年程前であるが、そのときに驚いたのは、著名な先生方が2人で一つのレポートを担当し、すべてのレポートを一つひとつ丁寧に読んで採点をしていることだった。第1チャレンジの参加者は今年2,000人を超えると予想されており、このやり方がいつまで続けられるかわからないが、レポートの中には大変ユニークなものも含まれているので、例えばある程度の選抜を各高校の先生方に任せて絞り込むような形を取ってでも、実験課題レポートを残して欲しいと感じている。今年の課題から共同実験者の数が4名までに制限され、また400字程度の要旨を作成することが求められるようになった。これまでもレポートの作成は個人で行うことが求められていたが、必ずしもそれが守られているとは言えなかったため、今回の処置を期にそれが厳密に守られるようになり、第2チャレンジでの5時間の実験問題に耐えられるチャレンジャーが選抜されることを期待し



2015年第2チャレンジ試験会場

ている。指導者の方々にはあまり手を掛けすぎずに学生自身が自分の頭で考えてレポートを作成するようご指導願いたい。

実験の経験を積もう

今年、スイス・リヒテンシュタインで行われるIPhOに派遣される日本代表選手がそろそろ決定される。昨年のIPhOでは金1、銀2、銅2と全員がメダルを獲得するすばらしい成果が得られており、今年もそれを超える結果を期待したい。公表されている昨年の結果を見ると、日本代表選手5人の平均点は理論問題では30点満点中23.7点あったのに対し、実験問題では20点満点中9.9点と半分以下であり、この点で平均15点以上を獲得していた上位国に差を付けられていたようである。これについては様々な理由があるだろうが、その一つは単純に実験に対する経験不足であるように思う。中学校や高校においては、通常の授業に生徒自身が行う実験を取り入れるというのは、時間的にも設備的にも困難な場合が多く、選手の多くは自ら実験を行った経験が少ないようである。そのため、第2チャレンジでも計測のやり方やグラフの書き方などの基本的な技術が備わっていないチャレンジャーが結構見受けられる。代表候補となったチャレンジャーはさすがにある程度の実験技術を備えており、また選抜後に何回かの合宿で過去のIPhOの問題を用いた実験等の訓練を行う機会もあるが、そのような短時間の訓練だけでは経験不足を補うには十分ではないようである。

チャレンジャーの皆さんには、先生の許可を取り安全面にも注意を払いながら、放課後などを利用して色々な実験をやってみて欲しい。様々な失敗もあると思うが、それこそが貴重な経験になるはずであり、将来理学部・工学部等の実験系に進む場合にきっと役に立つものと思う。学校の理科室には様々な実験装置があり、高校の教科書にも多くの実験が掲載されている。第2チャレンジ実験の過去問題は、すべてJPhOのホームページに公開されているので、それらを参考にしていきたい。

JPhOでは、チャレンジガイドの実験編の作成を開始した。これは、今年の1月にホームページに公開されている理論編に続くものであり、チャレンジャーとして身に付けて欲しいと我々が考える内容をできるだけ網羅したガイドにしたい。いくつかの実験キットも作成して、一通り実験を行いながら基本的な技術が身に付くような形のものにする予定なので、期待してお待ちいただきたい。IPhOや第2チャレンジの実験問題は高度ではあるが決して奇を衒ったものではない。高校で未習の事項については説明がなされているので、それを読んで理解する能力と基本的な実験技術・解析技術をしっかりと身に付けていけば対応できるものと思う。チャレンジガイド等も参考にできるだけ経験を積んでから物理チャレンジに参加して欲しいと思っている。

物理チャレンジ OP の博士論文 —新しい細胞系譜解析手法—



物理チャレンジ 2005, 国際物理オリンピック 2006 参加
 東京大学大学院総合文化研究科 博士課程 3年 野添 嵩

遺伝情報と非遺伝的な個性

「細胞」は生き物を構成する基本的な単位である。例えば、動物や植物においては、細胞は自己複製と「内部状態」の変化を繰り返してひとつの個体を形成する。その個体もまた自身の「情報」を受け継ぐ新たな個体を生み、その営みの繰り返しが、種の存続・繁栄へとつながる。このような次世代の個体に受け継がれる情報は「遺伝情報」と呼ばれ、基本的には DNA という物質が遺伝情報を担っている。1つの細胞で個体をなす生き物も存在する。私たちの身の回りのいたる所に生息している細菌(バクテリア)はその例である。例えば、結核を引き起こす結核菌やヨーグルトなどの発酵を引き起こす乳酸菌はバクテリアである。また納豆菌は枯草菌というバクテリアの一種である。動物の腸内にも大腸菌などのバクテリアが多数生息している。

こういったバクテリアにおいては、1つの細胞が増殖してなす集団は、基本的には全く同じ遺伝情報を持つ細胞集団(クローン集団)であるが、顕微鏡で1つひとつの細胞を観察してみると、成長が速い細胞もいれば、成長の遅い細胞もいるし、また細胞を殺す働きをする抗生物質を加えたときに、すぐに死ぬ細胞もいれば、しぶとく生き残る細胞もいることがわかる。このように、同じ遺伝情報を持った細胞集団であっても、集団を構成する個々の細胞は異なる性質をもっており、こういった性質は「非遺伝的な個性」と呼ばれることがある(図1)。例えば、病気の原因となる細菌を抗生物質で殺そうとしても、DNAの持つ情報を変化させることなく1部の細胞が生き残ってしまう、という現象がよく知られているが、こういった現象の背景に「非遺伝的な個性」が関係しているのではないかと考えられている。「非遺伝的な個性」が生じる要因の1つに「遺伝子発現量のゆらぎ」という性質がある。バクテリアは(大腸菌の場合)数マイクロメートルの長さであり、細胞内の様々なタンパク質分子の濃度は確率的に変動する。タンパク質がDNA上の特定の領域(遺伝子)から作られる過程を「遺伝子の発現」と呼ぶので、こうした細胞内のタンパク質濃度の確率的な振る舞いを「遺伝子発現量のゆらぎ」という。「非遺伝的な個性」すなわち、1細胞レベルで見られる「細胞状態」の多様性が果たす役割を考えることは、細胞の内部

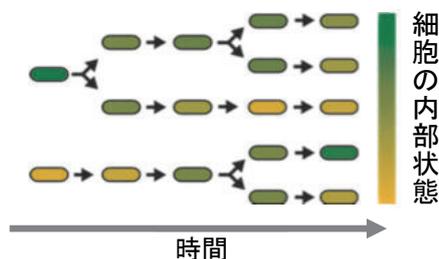


図1. 内部状態を変化させながら増殖する細胞集団の模式図。細胞の色の違いは内部状態(例えば遺伝子発現量)の違いを表す。

状態のゆらぎや多様性が集団の振る舞いをどのように決めるのか、という生命現象の基本的な理解を深める上で重要な問題である。

私は、こうした(非遺伝的な)細胞状態のゆらぎや多様性が果たす生物学的な役割について研究を進めてきた。具体的には、(遺伝子操作を行った)大腸菌の生き死にの様子を顕微鏡画像として取得しすることで「細胞系譜」(図2)と呼ばれる構造のデータが得られるのだが、細胞状態の変遷と増殖していく様子が記録されているこの細胞系譜データから、細胞の内部状態の違いがどの程度増殖の仕方の違いに効いてくるかという問題は、実際に考えてみると決して自明な問題ではなく、これまで解析手法が確立していなかった。私の学位論文の主要な成果は、新たな細胞系譜解析手法を提案し、実験結果への適用例と共に示したことである。

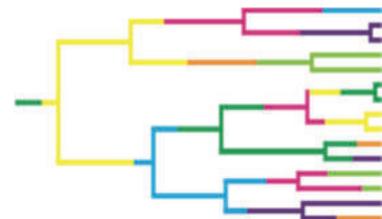


図2. 内部状態を変化させながら増殖する細胞系譜の模式図。線の色の違いが細胞の内部状態の違いを表し、分岐点が細胞分裂を表している。

1 細胞計測データによる細胞系譜解析

従来、細胞が作るタンパク質の量や、細胞の増殖の速さ、あるいは細胞の生存率といった量は細胞集団に対して計測され(例えば大腸菌を試験管で1日培養すると白濁するが、このとき1 mLあたり $10^8 \sim 10^9$ 個の細胞が存在する)、こうした集団の計測量をもとに生命現象が語られてきた。しかし、近年1細胞計測技術が急速に進展してきており、集団計測から推測されていた仮説や理論的な予測の検証、また集団平均だけでは捉えきれなかった(つまり、ゆらぎや多様性まで含めた)生命現象の法則性の発見が可能になりつつある。

1細胞計測の研究報告はここ5年間で急速に増えてきており、物理をバックグラウンドに持つ研究者たちも多く活躍している印象がある。例えば、半導体の微細加工技術と同様の工程で1細胞計測のための装置開発が行われるように、物理学の研究手法を背景としてこうした研究が進んできている側面もある。また理論的にも統計力学やそれと深く関係する確率過程や情報理論といった分野の手法も、1細胞計測データから生物学的な意義を理解する上で有用であるように思われる。実際、私の学位論文で提案した細胞系譜解析手法にもこうした分野が理論的な背景としてある。

今回提案した解析手法を様々な実験データに適用していった場合に、そこから新たな生命の理解につながるのかどうか、これは今後の私の研究における課題での1つである。

物理チャレンジ OP たちは今...

物理チャレンジ 2009-2012 参加
国際物理オリンピック 2011-2012 参加
東京大学理学部物理学科 3年 川畑 幸平



世界について

小さな頃から、世界の中での自分の存在について不思議に思うことが多くありました。世界はひろがりをもつと言うけれど、自分はその中でどのように位置づけられるのか、あるいは自分の存在しない世界は存在するのか、そうした疑問です。ある程度大きくなってから知りましたが、このようなことを不思議に思う人は少なくないようです。虹の仕組みや磁石の振舞いを不思議に思うというよりは、世界の中での人間主体としての意味づけにこそ鋭敏に反応する気性であったことを自覚します。

物理チャレンジには、中学3年生の時に初めて参加しました。当時は物理を進んで勉強していたわけではなく、むしろ、チャレンジの理論・実験の試験問題や、先生や他の参加者が語る話に、初めて物理の面白さと深遠さを知りました。チャレンジを通じて物理に魅了され、その後は物理を学ぶことが中心となる高校生活を過ごしました。

大学に入ってから、いろいろなものに触れるように心掛けました。世界には物理の他にも刺激的なものがあって、自分の知の枠組みが刷新されることを期待していたからです。かねてから興味があった哲学や芸術についての講義を受け、多く本を読みました。その中で、一つの転回点は、ニーチェの思想に触れたことでした。歴史の中で誰も問うたことのないものを問い、狂気とすれすれに接しながら、多くを書き、生きたその強度。その哲学は、自分の世界の見方を転換させました。なかでも、当時の自分の心を特に捉えたのは、自然の「真理」を理解しようとする物理の営みの根底に、生活形式や自然誌といった、人間的、あまりに人間的なものが存しているという洞察でした。

「美」と結び付く客観的「真理」が得られると素材にはみなされる物理学に対して、ぼんやりとした疑念を抱いていた自分にとっては、その問いかけは、胸を衝きました。その後、さらに多くを学びました。ときに鋭角的な論理に圧倒させられ、ときに受け容れられない思想を認知する。いずれにせよ、強く感じてきたのは、一人の人間が、生を全うする中で作り出した、それぞれの世界の広さ。そのひろがりには驚き、知的なものへの尊さを感じました。

そのような転回を経て、今、自分は物理学科に属して物理を学んでいます。哲学や芸術を研究する学科に進むことも考えながら、物理を選んだのは、この時代に生まれたとき、世界についてできる限り知るためには、まず物理についてもっと考えなければならぬと思ったからです。自分が知りたい世界の相貌の一面が、現代の物理には見られませんでした。物理の中では、特に量子論の基礎について関心をもって学んでいます。そこでは、かつては思弁的にしか問うことのできなかった「存在」という概念を新たな仕方でも問い、加えて「情報」という新たに捉えられた概念との関わりまで見えている。興奮しました。

高校生だった時に参加したセミナーに、「アインシュタインが生きた頃にはわからないことが多くあったが、今はもう物理でわかっていることはないから、その頃に生まれた方が物理の研究は楽しい」と言う人がいました。当時は賛同した記憶があります。けれども、今ではそうは思いません。physics が, metaphysics までをゆるがすこの時代に生まれたことを、限りなく肯定しようと思います。

物理チャレンジ 2008 参加
国際物理オリンピック 2009 参加
東京大学大学院情報理工学系研究科
修士課程 2年 難波 博之



物理が好き、数学の方がもっと好き

僕は、情報理工学系研究科の数理情報学専攻の院生をしています。数学を実社会の問題に役立てようというスタンスの専攻です。自分は昔から「数学を使って何かする」というのが大好きだったのでこの専攻を選びました。高校時代に物理チャレンジを受けたのも「数学を使って何かする」のが好きだったからです。物理オリンピックに出場させていただいたときも、理論は数式がたくさん登場して楽しむことができましたが、実験はダメダメでした。

さて、自分の研究についてですが、組合せ最適化という分野の研究をしています。線形代数(理系なら大学1年生で習う)やグラフ理論などを使って最短路問題(の亜種)という実社会の役に立つかもしれない問題に取り組んでいます。モデルが単純なら、数学的に解きやすく楽しいのですが、実際にはあまり役立つ結果は得られません。逆に、モデルを複雑にすればするほど現実をより正確に反映することができますが、数学的には解けない、美しくない世界になります。両者のバランスを取るのが難しいところ(かなり理論物理と似ている気がする)。ときどきコンピュータで数値実験をすることもありますが、基本的には紙とペンさえあればできます。最低限の成果さえ挙げれば研究室に行かなくても怒られないのをいいことに、最後の学生生活を満喫しています(この前は友達と歩いて山手線一周した、12時間以上かかった、楽しいのでみなさんも時間と根性があればぜひ)。

学科は違いますが、同じ東大に物理オリンピックメキシコ大会日本代表(メキシコ組)が何人かいます。メキシコ組とは学食で偶然会って話したりもします。やはり物理チャレンジのOBは物理が大好きという人が多く、物理系の学科に進学する人が多いようです。実際、他のメキシコ組は物理学科に進んでいます。そのため、物理の話には全くついていけません。同じ院生として境遇は似ているので、話していて面白いです。物理チャレンジに参加してから7年以上経ちますが、未だに仲のいい友人としてつながっているというのはなかなかすごいなあと感じます。

来年自分は(おそらく)社会人になります。社会人として働くことに対して、期待と不安でいっぱいです。仕事内容はまだ詳しくは分かりませんが「数学を使って何かする」ような仕事ができればいいなと思っています。一方、他のメキシコ組は(おそらく)大学に残ることになります。別々の道を進むことにはなりますが、ときどき集まってわいわいやりたいです。今後もこれまでのつながりを大切にしつつ、学生の間で培った力を糧に社会で活躍していきたいです!