

JPhO News Letter

Japan Physics Olympiad

No. 40 2024年7月

CONTENTS

- 02 アジア物理オリンピック2024参加
および実験問題報告
- 05 APhO2024理論問題
- 06 APhO2024マレーシア大会 スナップ写真



公益社団法人 物理オリンピック日本委員会

The Committee of Japan Physics Olympiad (JPhO)

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

アジア物理オリンピック2024参加および実験問題報告



国際物理オリンピック派遣委員会 副委員長
松本 益明

はじめに

2024年の第24回アジア物理オリンピック (APhO) は、マレーシアのPerak州KamparにあるUniversiti Tunku Abdul Rahman (UTAR)において6月3日～10日に開催された。参加したのはアジアを中心に27の国と地域から28チーム (マレーシアは2チーム) であり、ヨーロッパからはルーマニアがゲスト参加した。各国代表は最大8名参加することができ、日本からは表1に示す8名の生徒が参加した。

表1 APhO2024の日本代表選手

| | | |
|--------|------------|-----|
| 伊丹 翔治 | 灘高等学校 | 2年生 |
| 角谷 賢斗 | 開成高等学校 | 2年生 |
| 河野 次郎 | ラ・サール高等学校 | 3年生 |
| 窪田 裕成 | 新潟県立新潟高等学校 | 3年生 |
| 小林 悠大 | 大阪星光学院高等学校 | 3年生 |
| 坂本 聖 | 群馬県立高崎高等学校 | 3年生 |
| 遠山 龍之介 | 洛南高等学校 | 3年生 |
| 濱田 泰成 | 灘高等学校 | 2年生 |

同行したのは、松本益明 (東京学芸大学)、東辻浩夫 (元岡山大学)、岡部 豊 (元首都大学東京)、柴橋博資 (元東京大学)、佐藤 誠 (元津山高専) の5名である。

日程と行事

表2 APhO2024の主な行事

| 日付 | 時間 | 代表選手 | 同行役員 |
|---------|------|----------|----------|
| 6/2 (日) | 午後 | 結団式・直前研修 | |
| 6/3 (月) | 終日 | 入国・移動・登録 | |
| 6/4 (火) | 午前 | 開会式 | |
| | 午後 | 大学見学 | 理論問題翻訳 |
| 6/5 (水) | 午前 | 理論試験 | 休息 |
| | 午後 | 交流会 | エクスカージョン |
| 6/6 (木) | 終日 | エクスカージョン | 実験問題翻訳 |
| 6/7 (金) | 午前 | 実験試験 | フードフェス |
| | 午後 | フードフェス | 採点 |
| 6/8 (土) | 午前 | 伝統文化鑑賞 | |
| | 午後 | 伝統文化体験 | 採点 |
| 6/9 (日) | 午前 | スポーツ交流 | モデレーション |
| | 午後 | 講演 | 会議 |
| | 夕方以降 | 閉会式 | |

今回のAPhO2024の主なスケジュールを表2に示す。

代表選手と同行役員は、例年通りホテルでの登録後には、開会式、閉会式などの特別な行事を除いて別行動となったため、代表選手の様子について詳しく知ることはできなかった。興味のある方は、検索エンジンやYouTubeで

「APhO2024」を検索し、ホームページ等や動画をご覧いただくと、試験やイベントの様子がお分かりになるかと思う。スケジュールは大体例年通りだったが、実は例年より半日程短く、最終日の6/9に一日でモデレーションと会議、講演、閉会式をまとめておこなった後、すぐに帰国の途についたため、非常に慌ただしかった。

・APhOの開催場所について



図1 開会式での写真

代表選手と役員は、6/2の直前研修の後、羽田空港へ移動し、23時半に離陸して6時半頃にクアラルンプール空港に到着した。時差は1時間しかないため、飛行中に寝ることで効率的に移動することができた。ただ、大人数でバスに押し込まれて空港から3時間かけて移動したのはかなり疲れるものだった。Kamparは、かつては錫の採掘で賑わったようだが、今は学術都市として複数の学校が存在する静かな町である。会場となったUTARは拉曼大学とも書き、小さな湖を囲むように作られた自然豊かな美しいキャンパスを持つ中華系の大学で、学習環境は素晴らしく、クアラルンプールなどからも多くの学生が入学しているようである。ほぼ全ての行事は大学キャンパス内の施設を使用しておこなわれたが、ホテルからバスで15分ほど移動する必要があり、集合にも時間がかかったため、大きな時間のロスとなったように思う。

・宿泊・食事・行事等について

同行役員が滞在したのは一般的なホテルであったが、代表選手の宿泊所は学生向けの宿舎のようなところで、必ずしも快適ではなかったようである。また、提供された食事は主に弁当やケータリングサービスによる簡単なビュッフェであったが、チキンか魚ばかりで途中で飽きてしまった。ただ、6/7のフードフェスでは、マレーシア独特の料理を色々楽しむことができて良かった。特にナシレマというマレーシアの国

民食に含まれるご飯は、ココナッツミルクで炊いてパンダンの葉で香りが付けられており、一緒に食べるピーナッツ小魚も含めてとてもおいしいと感じた。全員お腹を壊すことなく、最後まで過ごせたのは良かったと思う。エクスカーションで訪問した場所は、代表選手がGua Tempurung (テンプル洞窟)という鍾乳洞とHoga Gaharu Tea Valleyという森林公園のような場所であり、同行役員が、極楽洞という小さな鍾乳洞に仏像を設置したお寺のような場所とKellie's Castleというかつて大富豪が建築した未完成の邸宅であり、なかなか面白い場所であった。6/8の伝統文化鑑賞ではマレーシアの伝統的な衣装を着た男女の踊りや歌、近隣の中華系少年団による獅子舞やドラゴンダンスなどを楽しんだ。さらに代表は民芸品の製作などの伝統文化体験も行うことができたようである。

翻訳、モデレーションおよび成績

・翻訳作業について

APhOでの問題に関する議論と翻訳にはOlympifyというシステムが使われた。問題の表示とダウンロード、議論での内容に関するコメントの入力、翻訳と印刷、投票、得点入力とモデレーションの申請等を1つのサイトでおこなうことができた。翻訳に当たってはGoogleやDeepLなどの翻訳サイトが利用できたが、得られた結果は必ずしも満足できるものではなかったため、その修正には結構時間がかかった。理論問題に関する議論は、14時頃に始まり、様々な議論がおこなわれ、最終的に問題が確定したのは22時45分頃であった。その後翻訳を開始して、印刷・封入が終わったのは5時半頃であった。実験問題については、朝9時から議論が始まったため、早めに終わるかと思ったが、問題の修正箇所が多くあったために問題が確定したのが23時であり、印刷・封入が終了したのは結局4時40分であった。理論試験は9時の開始だったが、実験試験は7時からの開始予定と非常に早かったため、ギリギリであった。

・モデレーションについて

私がこれまで参加したIPhOやAPhOでは、各国代表団の採点結果を先にアップロードしてから、オフィシャルの採点結果が公開される形を取っていたが、今回のOlympifyシステムでは、それと異なり、先にオフィシャルの採点結果が公開されてからでないと代表団の採点結果をアップできない形であった。

6/5におこなわれた理論試験については、代表選手の答案がその日の22時頃配布される予定だったが、スキャンに時間がかかったとのことで、我々が受け取ったのは翌日の朝であった。採点結果のアップロードの予定は6/7の22時であったが、なかなかオフィシャルの採点結果が公開されず、翌日6/8の夕方になってようやく公開されたため、それから我々の採点結果をアップロードし、モデレーションへの対策を練ることになった。それでも6/9の午前中のモデレーションまであ

る程度時間的な余裕があり、また成績がかなり良かったこともあって、理論試験のモデレーションは比較的うまくいった。

実験試験は6/7におこなわれ、その日の夜中には答案が配布された。6/8の22時に採点結果をアップロードする予定であったが、夜中の1時を過ぎてもオフィシャルの採点結果が公開されず、我々が採点結果をアップロードできたのは6/9の朝で、モデレーションの始まる直前となったため、検討する時間がほとんどなかった。さらに、オフィシャルな採点結果が低く、我々の採点との隔たりが大きかった上、採点基準に間違いがあり、等価な式でも正しいとなかなか認めようとせず、単位に関する見解の相違も存在してこちらの主張がなかなか受け入れられなかったためモデレーションの時間を有効に使えずかなり不本意な結果となった。

13時半からおこなわれた国際ボードミーティングにおいても、モデレーションの結果が反映されていなかったり、そもそものモデレーション自体に対する不満があったりして大きな混乱が生じた。その結果、最終的に各国のリーダーがそれぞれモデレーション結果に応じた得点を入力するというおかしな事態になってしまった。このような混乱が起きた原因としては、実験の問題と採点基準の完成度が低く、検討が不十分だったこと、採点官の数が少なく、研修も不十分だったこと、最終日のスケジュールを詰め込みすぎたこと等が挙げられる。国からの予算が少なく、低予算で大変だったかと思うが、肝心の問題作成や採点についてはもう少しきちんとおこなってほしかったと感じた。

今回からメダルの授与の基準が変更され、上位約12%に金メダル、次の22%に銀メダル、その次の19%に銅メダル、次の19%に優秀賞 (Honorable Mention) が授与された。日本では河野君が金メダル、残りの7人全員が銅メダルを獲得した。全員がメダルを獲得できたのは大変良かったと思う。



図2 閉会式での写真

来年2025年のAPhOは、5/4~12の日程で、サウジアラビアの東海岸に位置するDhahranで開催される。2026年以降は、韓国、タイ、トルコの順番で開催される予定である。

実験問題

通常IPhOやAPhOでの実験試験では2問が出題されるが、今回のAPhOでは、「ジャイロスコープ」の1問のみが出題された。問題はAからGまでの7つのパートに分かれており、次の表3のようなタイトルが付いていた。

表3 実験問題一覧

| パート | タイトル | 点 |
|-----|------------------------------|-----|
| A | ベースを水平にし、スタンド棒が正確に鉛直になるようにする | 1.0 |
| B | 回転速度の影響 | 6.5 |
| C | ジャイロスコープアームの長さの影響 | 2.1 |
| D | ジャイロスコープの円板の重量の影響 | 3.7 |
| E | 外力によって誘発されるトルク | 3.5 |
| F | 章動現象 | 1.5 |
| G | セルフバランス型ジャイロスコープの応用 | 1.7 |

装置の写真を図3に示す。チルト調整の可能な重い台の上に鉛直スタンドを立て、その上端のピボットにアルミ製のジャイロスコープアームを差し込み、アームの一端に取り付けられたモーターに回転円板を取り付ける。ピボットは鉛直スタンドに垂直な面内で自由に回転でき、さらにそれと独立してアームをシーソーのようにある角度範囲で自由に傾けることができるようになっている。円板としては厚さや直

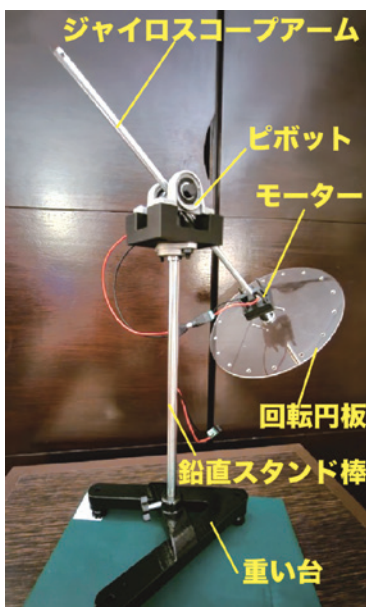


図3 実験装置の写真

径の異なる4つが用意されていた。図3のように円板が停止している場合には円板の重みでアームが大きく傾きピボットの角にぶつかり静止した状態にあるが、アームを水平に近い状態に保持しながらモーターで円板を外側から円板に向かって反時計回りになるように高速回転させてから手を離すと、回転板が重力により落ちようとするトルクにより歳差運動が起き、アームと回転円板は、ピボットを中心に、上から見て反時計回りにゆっくりと回転する。この歳差運動による回転周期は円板の回転速度、ピボットから回転板までの距離（アームの長さ）、回転円板の重量によって変化するため、それらのパラメーターへの依存性を測定するのがパートBからパートDであり、この問題の中心課題となっていた。

この歳差運動がうまくおこなわれるためにはピボットによる回転面が正確に水平（スタンド棒が鉛直）である必要がある。そのセッティングをおこなうのがパートAであり、水準器を使わずにスタンド棒を鉛直にする方法を考える問題である。

図3のような状況でできるだけ重い円板を付けてアームを手で回したとき、ピボットによる回転面が水平からずれていたら、回転面の一番低い側に重い円板が来て振り子のような運動をした後に静止することになるため、そうならないように台の脚を調整するというものであったが、代表選手でそれに気付けたものは一人もいなかった。初めて触る装置では難しい課題だったと言える。ただ、目視でスタンド棒を鉛直にする程度でもパートB以降の課題には取り組めたので、パートAがどこまで必要だったのかは疑問である。パートBからパートDではそれぞれのパラメーターを変えながら周期を測定する。この測定で重視されたのは、複数回転での周期測定と、その測定の繰り返しである。解答例では10周期を5回以上測定していたが、代表選手によると、円板がすぐに落ちてしまって、10周期も測定できなかったということであった。回転数を大きくするとそれを防ぐことができるが、モーターへの電圧が6Vを超えるとモーターが焼き付くトラブルが発生し、その修理をさせられたということで、実際に数人の装置でモーターが焼き付き、かなり時間のロスになったようである。パートBでは測定の不確かさについても考慮するため、標準偏差、標準誤差の定義が問われ、さらに、理論的な計算をおこなう問もあり、質量 m 、半径 R の一樣な円板の慣性モーメントが、 $I = \frac{1}{2}mR^2$ で与えられることを示す問や、円板側の質量を m 、その高速回転の角速度を ω_s 、アームの長さを r 、重力加速度の大きさを g とし、モーターやアームの質量を無視するとき、歳差運動の角速度 ω_p が $\omega_p = \frac{mgr}{I\omega_s}$ となることを示し、具体的に計算する問があった。

パートBでは、モーターの電圧を増大、つまり円板の回転の角速度を増大させると歳差運動の周期はほぼ線形に増大する。パートCでは、アームの長さを増大させると、歳差運動の角速度がほぼ線形に増大する（周期は減少する）。パートDでは、円板の質量を増大させると歳差運動の角速度が減少する（周期は増大する）。上の式からは、 ω_p は円板の質量に依存しないはずだが、実際には回転しないモーターの重さがあるため、そのような結果となる。代表選手のB~Dの実験結果はほぼ正しいものであった。ただし、IPhOやAPhOでは、測定値の正しさだけでなく、表やグラフの書き方も重視されるため、上に書いた複数周期や複数回測定の回数が少ないとか、項目名や単位が正しく書かれていない、グラフの傾向を表す線が書き込まれていないといった点でかなり減点がされていた。パートEは、アームの逆側に回転しない円板を取り付けてバランスを取った後に軽量なおもりでバランスをずらしたときの歳差運動について考えさせる問題であり、パートFは、アームに瞬間的な上下方向の力を加えた後に円板が上下に振動しながら歳差運動する章動と呼ばれる現象について、実験と理論の両面から問う問題であった。ただ、その様子を描くのは難しく、解答例にも間違いがあり、きちんと採点できなかったのではないかと思う。また、パートGでその場でジャイロスコープを考えさせるのは無理があると感じた。

APhO2024 理論問題



国際物理オリンピック派遣委員会 理論研修部会
東辻浩夫 (左)、岡部 豊 (中)、柴橋博資 (右)

理論問題は3問で、例年に比べ易しかった。

第1問 噴水の幾何学 (10点)

下の図のような、射出口が半球面に分布した噴水があるとき、噴射される水の包絡線や、地面がどのように潤されるか、についての問題。重力下の水滴の運動を書き下すことから出発し、射出角 θ をパラメータとする軌跡の方程式、包絡線、水平方向の到達距離 R を求める。さらに、地面が均一に潤うための、射出口の分布密度 $\rho(\theta)$ を問う。 R は $h=0$ の場合の解を与えて確認させる、均一に潤うための $\rho(\theta)$ はその場合だけでよいなど、解答を容易にしてある。

試験時の解答例では、水の分布に関する新たな変数を定義するなど、やや丁寧すぎる一例に沿って配点した所もあった。ここでは、ほとんどの代表選手が正解を簡潔に導いており、モデレーションでそのように評価させた。多くの代表選手が満点であった。

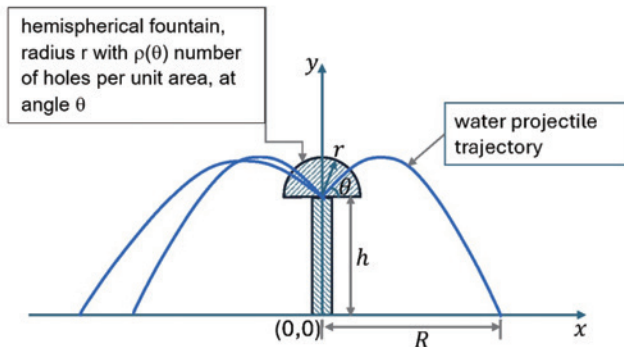


図1 半球形噴水の断面の概念図

第2問 スネルの法則 (10点)

光の屈折のスネルの法則

$$n_1 \sin \varphi_1 = n_2 \sin \varphi_2$$

に基づいて、光ファイバーを考察する。スネルの法則から全反射の条件を求め、屈折率を与えて臨界角を数値計算するのは、光学の基礎的な問題である。

下の図のような円柱状のロッドの端から光を入射したときに全反射する入射角の範囲を、ロッド内、外側、両端の媒質の

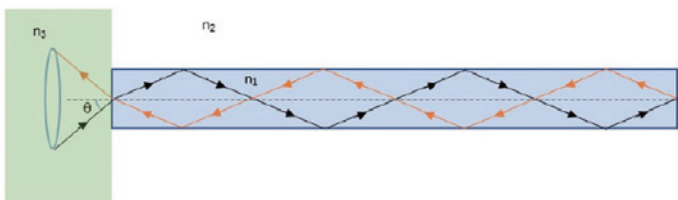


図2 $n_2 < n_3 < n_1$ の屈折率 n_3 のポリマーで一端がコーティングされた円柱状のロッド

屈折率を与えて計算するが、必要な数学は三角関数(逆三角関数)だけであるので、計算は容易である。最後の、光ファイバーを曲げたときに最大入射角がどのように変化するかの問題は、少し取りつきにくいだが、代表選手は、この最後の問を除いては、ほぼ満点であった。

第3問 初めて発見されたクエーサー 3C 273 (10点)

クエーサー 3C 273 を題材とした問題。3C 273 は、ケンブリッジ電波源カタログ第3版(1959年)の273番目としてリストされている天体である。

シリル・ハザードが行なった月による掩蔽観測により、その正確な位置が測定され、見かけの大きさが恒星状であることが判明した。パートAは、掩蔽を考える準備として、単位時間に月が天球上を動く角距離を問う、パートBでは3C 273の掩蔽の観測記録についての解釈を問う。3C 273が、新たに「クエーサー」という特異な天体として認識されたのは、1963年、マーテン・シュミットによって、大きな赤方偏移を持つことが判明したからである。パートCでは、まず3C 273の可視光スペクトルから赤方偏移を求めさせ、次いでその赤方偏移が重力赤方偏移であると解釈した場合の質量を問うてそれが合理的なものか否かを判断させ、最後に遠方銀河の後退速度と距離との間の経験則(ハッブル-ルメートルの法則)を用いて3C 273の距離を求めさせる。距離が判ったことにより見かけの電波強度からクエーサーが放出しているエネルギーが膨大な量であることが明らかになった。パートDは、3C 273の電波スペクトルと前問で求めた距離を使って、3C 273が単位時間に放出している輻射エネルギーを求めさせるものであった。パートEでは、まず物質と反物質による対消滅が3C 273のエネルギー源として妥当であるか否かを確認させ、次いで超大質量ブラックホールへの1太陽質量/年の質量降着がエネルギー源として妥当であるか否かを判断させる。3C 273は、巨大なジェットを噴出している。巨大ジェットの機構としてブラックホールの強力な磁場による粒子加速の可能性が考えられている。パートFは、この考えに基づいてジェットの磁場強度を見積もらせる問題であった。

クエーサーの観測と解釈を歴史的に俯瞰する第3問は、高校生である代表選手にとって興味深いものであったことを願うが、問題としては極めて平易なものであった。

APhO2024 マレーシア大会

