

国際物理オリンピック2006

長谷川修司

37回目にして日本から初出場

2006年7月9日午前10時過ぎ、シンガポール南洋工科大学の大講堂で第37回国際物理オリンピック(International Physics Olympiad, IPhO)の開会式が盛大に始まった。シンガポール文部大臣や3名のノーベル賞学者の出席のもと、過去最高となる87か国から398名の高校生が代表選手として集まった。それぞれの国名のプラカードを先頭に、次々と舞台上上って“入場行進”を行った。今回、わが国から初めて代表選手団を送ることができた。野添嵩君、谷崎佑弥君、疋田辰之君、田中良樹君、村下湧音君の5名がそろいのスーツ姿で舞台上に登場したとき(図1)、胸に熱いものがこみ上げてきたのは私だけでなく、ほかの日本役員も同じことだったと思う。長年、国内で議論・準備されてきたIPhO派遣がついに実現したという現実を目の当たりにして、感慨無量であった¹⁾。1967年にポーランドで第1回IPhOが開催



〈図1〉 IPhO2006開会式での日本代表選手団

左から野添君、谷崎君、疋田君、田中君、村下君。日本チームのガイド、シェリルさん(シンガポールの高校生)がプラカードをもつ。

されて以来、数年の例外を除いてほぼ毎年さまざまな国で開催されてきたIPhO(図2)に、遅ればせながら日本が初めて正式参加したのである。

日本代表選手の5名は、約1年前の2005年8月に行われた全国物理コンテスト“物理チャレンジ2005”の成績優秀者から選ばれた。その詳細は文献2を参照されたい。そこでの金、銀、銅メダル獲得者のうち、高校2年生以下の12名が日本代表候補者として選抜された。その後、電子メールと郵便による強化トレーニングを経て、2006年3月に行った特訓合宿で最終選考を行い、上記5名の高校生が選抜された。

理論コンペティション

南洋工科大学での開会式のあと、代表選手たちと役員らは完全に別行動となり、お互いに接触できない状態におかれた。代表選手たちはノーベル賞受賞者ヤン(C. N. Yang)教授の講演会に参加したが、役員たち(各国2~6名

で総勢およそ200名)は、翌日に行う理論コンペティションの問題検討役員会に出なければならなかった。IPhOの慣例に従い、開催国の出題委員会が準備した問題案を、参加国の役員全員でもう一度練り直し、部分的に大幅に問題文および配点を修正した。最終的に全役員の手によって、問題および採点基準が確定された。この役員会は冒頭から白熱し、理論問題3問すべてが承認されたのは結局、夜中の12時近くであった。この役員会では各国の物理教育のレベルやポリシーなどが見え隠れし、少しでも自国の選手に有利なように問題や採点基準を変えるよう、各国からさまざまな意見が出された。問題が確定すると、開催国によってその英語版、ロシア語版、中国語版、スペイン語版、独語版、仏語版が用意されるが、その他の言語の国の役員たちは夜中12時すぎから翻訳作業に入った。日本から派遣した6名の役員は手分けして英文から日本語への翻訳を行い、日本語版の問題冊子と解答用紙を完成させたのが翌朝の6時であった。しかし、それでも終わらなかった国が数か国あり、結局8時からの理論コンペティションの開始が20分ほど遅れた。

5時間に及ぶ試験で代表選手たちが解く理論問題は、日本の大学入試と違ってじっくりと考えさせる問題である。第1問(図3a)では、中性子ビームのマッハ・ツェンダー干渉計をつくり、2つの行路に高低差をつけることによって生じる位相差を計算させる。高校物理で出てくる干渉では、行程の幾何学的な長さの違いによって生じる位相差を計算することが多いが、この問題では、行路の途中で重力のために

中性子の波長が変化し、それによって生じる位相差を計算させる。各国の役員もこの問題の“斬新さ”にびっくりしてしまい、議論が紛糾して、問題文や図の修正の検討になんと4時間近くも費やしてしまった。

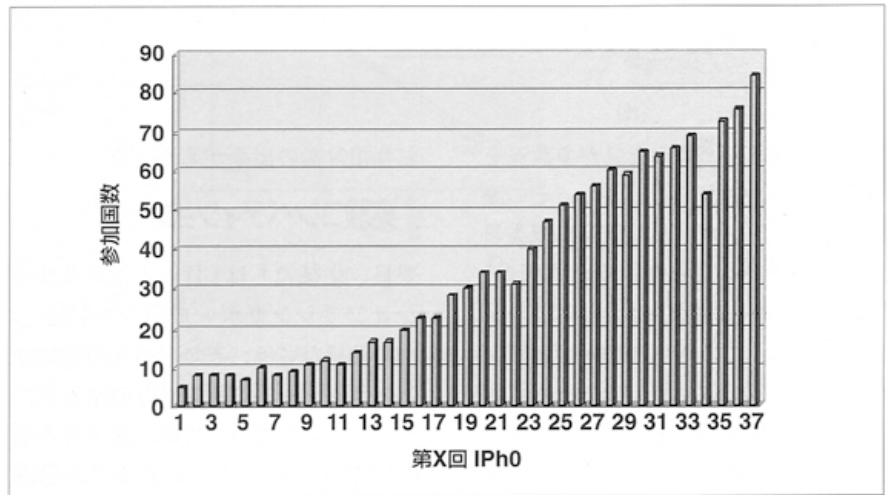
第2問は、高速で運動している棒をカメラで写真に撮ったとき、写っている棒の長さが実際の長さで違う、という相対論の問題であった(図3b)。地面には1 mおきに目盛をつけた長い定規が置いてあって、ピンホールカメラは静止している。棒の先端と後端から出た光がカメラに到達するまでの時間が異なること、その間に棒は進んで位置を変えることをじっくり考えると、相対論を知らなくともある程度解ける。相対論といっても、ローレンツ収縮の知識だけが要求される問題であった。

第3問は、日常的な現象から物理的考察をして桁の推定を行う小問5題から構成されていた。

- (1) デジタルカメラの分解能を考える問題で、カメラの絞り(F値)の意味を知っている必要があった。
- (2) 卵をゆでるのに必要な時間を、熱流に関するフーリエの法則を使って計算する。
- (3) 稲妻によって解放される静電エネルギーを見積もる。

- (4) 毛細血管での血圧と血液の流れの関係を、電圧 - 電流のオーム則との類似性から考える。
- (5) 超高層ビルの屋上と地上との温度差を、気体の断熱膨張を仮定して計算する。

第3問の原案にはさらにもう1題の小問題があったが、役員会の討論で、問



〈図2〉 IPhO 参加国数の推移

(a)

理論問題 1: 中性子干渉計における重力

BS - ビーム分離器 M - 鏡

(b)

理論問題 2 運動している棒の観察

ピンホールカメラ

棒

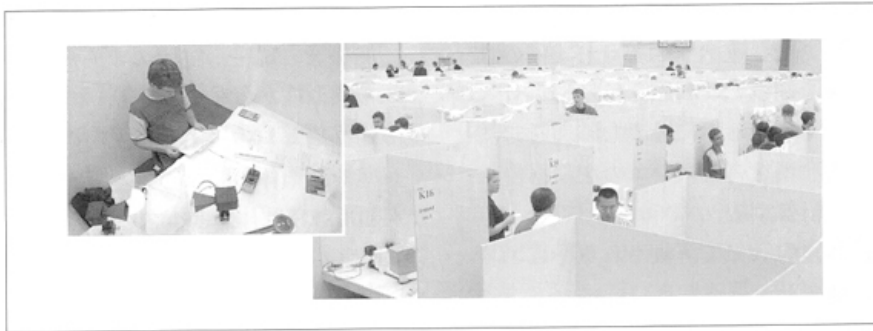
v

D

x

0

〈図3〉 理論問題第1問(a)と第2問(b)



〈図4〉 コンペティション会場

題数が多すぎるという意見が多数派を占めてカットされた。しかし、その議論のなかでシンガポール理論出題委員長の口からいく度となく出た言葉は、「優秀な生徒と非常に優秀な生徒を区別するには、この程度の難しさと問題の多さが必要なのだ！」であった。国を代表する優秀な高校生ばかりが集まっており、そのなかで優劣をつけなければならないので、大学入試問題よりはるかに難易度の高い問題が必要なのである。これこそがオリンピックである！

翻訳作業で徹夜をした役員たちがホテルで寝ている間、代表選手たちは試験時間5時間の理論コンペティションを立派に闘いぬいた。試験後、選手たちは講演会に出席し、夕方にはシンガポールの観光名所ナイトサファリを楽しんだ。役員たちも徹夜の疲れから回復したので、ナイトサファリに出かけて選手たちと接触した。選手たちは口々に、問題が難しかったといていた。選手5名の答案のコピーが役員の宿泊ホテルに届けられたのは、同日の夜中12時過ぎであった。昼夜逆転の生活に慣れた役員たちは、夜中3時過ぎまで部分的に採点してみた。予想ど

おり相対論の出来が悪かった。

実験コンペティション

翌日、生徒たちは1日中、エクスカーションでシンガポール市内を観光した。役員たちは、その次の日の実験コンペティションの問題検討の役員会に入った。その役員会では、前々日の理論問題検討の反省をふまえ、大激論にならないようシンガポール実験問題出題委員長が気を使って司会進行をしていた。それでも午前11時から始まったにもかかわらず、最終的な問題文(英文)および採点基準が確定したのは夜の8時過ぎであった。そこからまた翻訳作業が開始され、日本チームの翻訳が完了したのは夜中の3時過ぎであった。

翌朝8時から実験コンペティションが始まった。試験会場は〈図4〉のように、ひとりひとりの机が白いボードで間仕切りされており、となりの人が何をやっているのかまったく見えない状態になっていた。それは、実験器具の配置から自分で考えて測定する問題だったので、となりの人の様子を見ることができると試験の意味が半減してしまうからであった。

実験はマイクロ波を使った干渉・回折の測定であり、5時間の試験のあいだに4種類の実験を行って、そのデータを解析する。〈図5a〉に示すような実験キットが、選手ひとりひとりに配られた。マイクロ波発信器や受信器、マイクロ波に対する反射鏡やレンズ、プリズム、目盛つき光学レールなどが、ばらばらに箱詰めされていた。

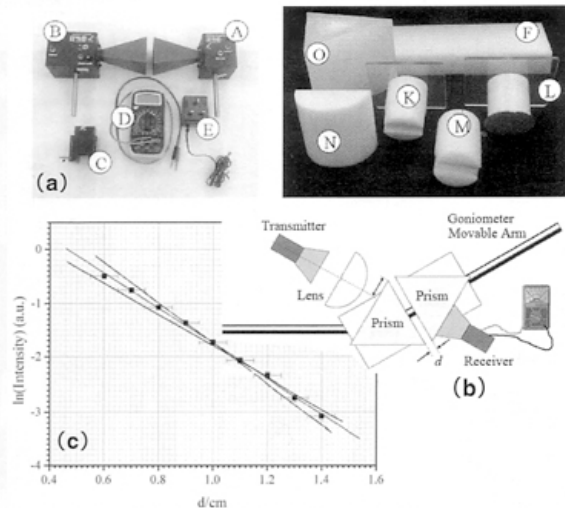
実験課題1では、これらの器具を使ってマイケルソン干渉計を組み立て、行路差を少しずつ変えて干渉による信号強度の変化を測定し、最後にはマイクロ波の波長を指定された誤差以下で求める。問題冊子にはマイケルソン干渉計の原理図だけが描いてあるが、それをヒントにどの実験器具をどう配置したらよいかまず自分で考え、その器具配置図を解答用紙に描く。難しいのは、指定された誤差以下の精度で波長を測定するにはどうしたらよいか、である。測定回数あるいは測定点の数を増やすことによって誤差を小さくできるという、定性的な理解だけでは解決できない問題であった。日本選手は、波長を測定することはできたが、誤差の追い込みはできなかった。

課題2では、マイクロ波の波長が3 cm弱なので、ふつうの亚克力板が“薄膜”の役割をすることを利用して、いわゆる“薄膜の干渉”実験を行い、亚克力板の屈折率を求める。課題3は“不満足な全反射”(frustrated total internal reflection)というもので、プリズム内面で全反射する角度でマイクロ波を入れたとき、プリズム表面から空気側にわずかにしみ出てくるエバネセント波がある。このとき、〈図5b〉に示すように、その表面に近づけてもう1つのプリズムを置くと、そのエバネセ

ント波が第2のプリズム内を進行波として伝わり、検出器に入る。2つのプリズムの間隙 d を小さくしていくと、検出器の出力は指数関数的に増大していく。〈図5c〉に示すように、この関係を示すデータを片対数プロットして、その傾きを求め、そこから理論式に従ってプリズムの屈折率を求める。ここで試されるのは、この原理を理解して実験器具を配置して測定できるかということだけでなく、データの片対数プロットを方眼紙に描けるか、そして各測定点の誤差棒を考慮してグラフの傾きの誤差を見積もることができるか、という点である。

課題4はマイクロ波のブラッグ回折の実験であった。金属棒によってつくられた正方格子が入っているブラックボックス(封をされた小さなダンボール箱)にマイクロ波を当て、金属棒格子によるブラッグ角を測定することで、金属棒格子の“格子定数”を求める。この課題は、まずブラッグの公式を導くという理論的な小問から始まっていたが、実験問題検討役員会はこれについて紛糾した。つまり、実験コンペティションなのに理論問題のような小問を入れるのは妥当ではない、という意見が多く出され、シンガポール出題委員長との間で議論となった。結局、全参加国の役員投票にかけられ、その理論的な小問はそのまま残すことになった。日本の役員は日本選手の顔を思い浮かべ、「彼らならブラッグの公式など簡単に導けるに違いない」と判断し、この小問を残すように投票した。

今回の実験コンペティションの課題の特徴は、与えられた実験器具を使って、それらの配置を自分で考えて測定



〈図5〉 実験コンペティションに使われた装置キットおよび解答例

系を組み立てさせる点である。このような問題には、日本の役員はもちろん選手たちも面食らった。日本の高校(と大学)での物理実験では、実験器具や実験手順が懇切丁寧に解説されており、自分でやることはそれに従って実験を行ってデータをとることだけ、というのがほとんどであろう。今回のIPhOの実験問題には、そのような教育ではだめだというメッセージを感じる。もう1つの特徴は、測定誤差の定量的な見積もりである。日本では高校生はおろか、大学1, 2年生でも、今回の問題の誤差に関する解析はできないだろう。定規の最小目盛の半分を読み取り誤差とすること、それから出発して誤差の伝播の式を使って、あるいはグラフ上での誤差棒を考慮して、最終的に求める物理量の誤差を計算する、という訓練がまったく足りな

かった。データ点を1次関数で最小2乗フィットしたときの誤差の公式は、暗記しておく必要がある。

採点とメダリスト決定

実験コンペティションが終了した日の夕方には、中間パーティーが盛大に催された。小柴昌俊先生とオsheroff (Douglas D. Osheroff) 教授の2名のノーベル賞学者が出席し、選手と役員など総勢600名程度の大きなパーティーだった。生徒たちは理論と実験の試験が無事終了したので、ほっとしている様子だった。

その翌日から丸3日間、生徒たちは終日エクスカージョンを楽しんだ。間近に迫ったシンガポール独立記念日行事の予行演習を見学に行ったり、シンガポール市内でショッピングをしたり、セントーサ島の浜辺でゲームに興じた



〈図6〉閉会式のあと、メダルと賞状を手にする日本代表選手と役員たち

りした。しかし、役員たちは採点および“減点復活交渉”(moderation)の準備にかかりきりだった。採点は、シンガポール採点委員会がさまざまな言語の答案を、式と記号と数字だけをたよりに採点する(それに丸2日かかる)。理解できない言語で書かれた答案を採点するので、誤解や見落としなどをする危険がある。そのため、各国の役員も自国選手の答案のコピーで独立に採点作業を進める。まず、シンガポール採点委員会の採点結果をもとに、役員会で選手全員の成績一覧が公開され、金、銀、銅メダル、および入賞(Honorable Mentions)の最低点が決められた。この役員会で、メダル獲得者の数を増やそうという提案が複数の国から出されたが、議論と投票の末、いままでの慣例どおり、上位6%、12%、

18%、24%をそれぞれ金、銀、銅メダルおよび入賞とした。この段階ではシンガポール採点委員会による採点ミスなどは修正されていない。翌日、減点復活交渉が行われた。これは、問題ごとにシンガポール採点委員会の採点者と各国役員が1対1で採点を見せ合い、採点ミスや採点基準の誤解などを明らかにし、統一かつ平等に得点を確定する作業である。減点復活交渉のポイントは、前日の役員会で決定された各メダルの最低点を超えてメダルに手が届きそうな、あるいはメダルの色が変わる可能性のある選手の答案を重点的に調べ、完答できなかった問題の途中点の獲得を要求する。このとき、役員への押しの強さがものをいう。日本役員の前の席にいたハンガリーのベテラン役員は、「減点復活交渉は一

種のゲームだよ」といていたが、各選手の最終的な点数が決まる大切な最後のひと押しなのである。日本選手の1人は、理論問題にあった図の説明不足のため、思わぬ誤解をして、その誤解のまま計算してしまったが、物理的な理解と計算は完璧にできていた。そこで減点復活交渉で、図の説明不足という出題者側にも責めを負うべき部分があることをシンガポール採点委員に認めさせ、ある程度の点数を復活してもらうことに成功した。このような減点復活交渉の結果、上記の各メダルの割合は少し増え、金メダル37名(9.3%)、銀メダル49名(12.3%)、銅メダル82名(20.6%)、入賞81名(20.1%)となった。

7月16日午前10時、1週間前に開会式が行われた大講堂に選手および役員一同が再び集まり、閉会式となった。すべての選手と役員は、この1週間、力の限り闘い抜いたという満足感でいっぱいだった。日本選手は結局、銀メダル1名、銅メダル3名、入賞1名と全員入賞を果たし、IPhO初参加としては予想以上の成績をおさめることができた(図6)。理論試験5時間と実験試験5時間という過酷な試験を、あのパーティションに囲まれた独房のような試験会場のなかで立派に闘い抜いた選手たちに拍手を送りたい。閉会式の最後には、オリンピックの旗がシンガポールから来年の開催国であるイランの組織委員長に手渡され、再会を誓った。この日の夜には盛大なフェアウェルパーティーがあり、最後には選手と現地ボランティアの学生たちの壮大なダンスパーティーとなった。IPhOの運営には、少なくとも100名を超える学生ボランティアが活躍していた。

脱力系女子大教授

白楽ロックビル 著

四六判・144頁
定価1050円(税込)

読売新聞連載の「白楽ロックビルの不肖無精」より抜粋／再構成して書籍化。お茶の水女子大の現役教授が、「理系教授のバカでふまじめな実態(本文より)」を、脱力系のユニークな口調で綴ります。

本選手の活躍が報道された。8月24日には、上記国際科学オリンピックでのメダリスト全員が小泉首相に招待され、総理官邸でオリンピックの報告を行った。とくに、IPhOのマイクロ波の実験問題を首相の前で代表選手がパネルを使って説明したときには、首相は「まったくわからん」といって和やかな雰囲気だったという。同席した安倍官房長官は、詳細な物理の内容を質問されたそうだ。その後、首相から国として科学オリンピックに積極的に取り組むよう指示が出されたという。今後、IPhOを含む国際科学オリンピックに対応するための国内組織ができ、学会や経済界の協力を得て、裾野の拡大と継続的な代表選手の派遣が行われることを期待したい。

IPhO シンガポール大会の1週間後、再び岡山県にて物理チャレンジ2006が開催され、IPhO2007イラン大会に向けた日本代表候補者13名が選ばれた。

参考文献

- 1) 毛塚博史, 田中忠芳, 喜多誠, 鈴木恒則, 岡高茂樹: 応用物理 72(1), 63(2003).
- 2) 長谷川修司: 大学の物理教育 12(2), 50(2006).

帰国後

7月17日に帰国し、その翌日の午前中には選手役員一同、松田科学技術担当大臣および文部科学省に報告を兼ねて表敬訪問した。その後の昼食会で全日程10日ほどの行事をすべて終了し、IPhO2006日本代表団が解散された。

IPhOに参加して、いろいろなことを考えさせられた。IPhOは単に優秀な高校生たちを競い合わせる場ではなく、国内の物理教育を考えるうえでもたいへん有意義な場だと実感した。日本の高校物理教育が、グローバルスタンダードからどうずれているのかを実感できるよい機会と思うので、たくさんの大学と高校の先生方にIPhOを体験してもらいたいと願っている。たとえば今回のIPhOでは、理論と実験のコンペティションを通して、古典力学の問題がまったく出題されなかった。電磁気学も理論問題第3問の小問で少し触れた程度だった。その是非はともかく、これは日本の大学入試では考えられないことで、シンガポール出題委員会のメッセージが感じられた。

代表選手たちにとっても、きわめて刺激的な10日間だったようだ。外国の同年代の選手たちとの交流を通して、物理以外のさまざまなことを考えさせられたという。選手の1人は、「大学入試を考えていると暗い気持ちになるが、IPhOに参加して世界を見て、目の前が急に明るく開けたように感じた」といっていた。今回の経験が彼らの将来に大きな影響を与えることは間違いない。

IPhOと相前後して、化学、生物、数学、情報の国際オリンピックでの日



丸善 (出版事業部)

営業部(03)3272-0521 FAX(03)3272-0693
http://pub.maruzen.co.jp/