

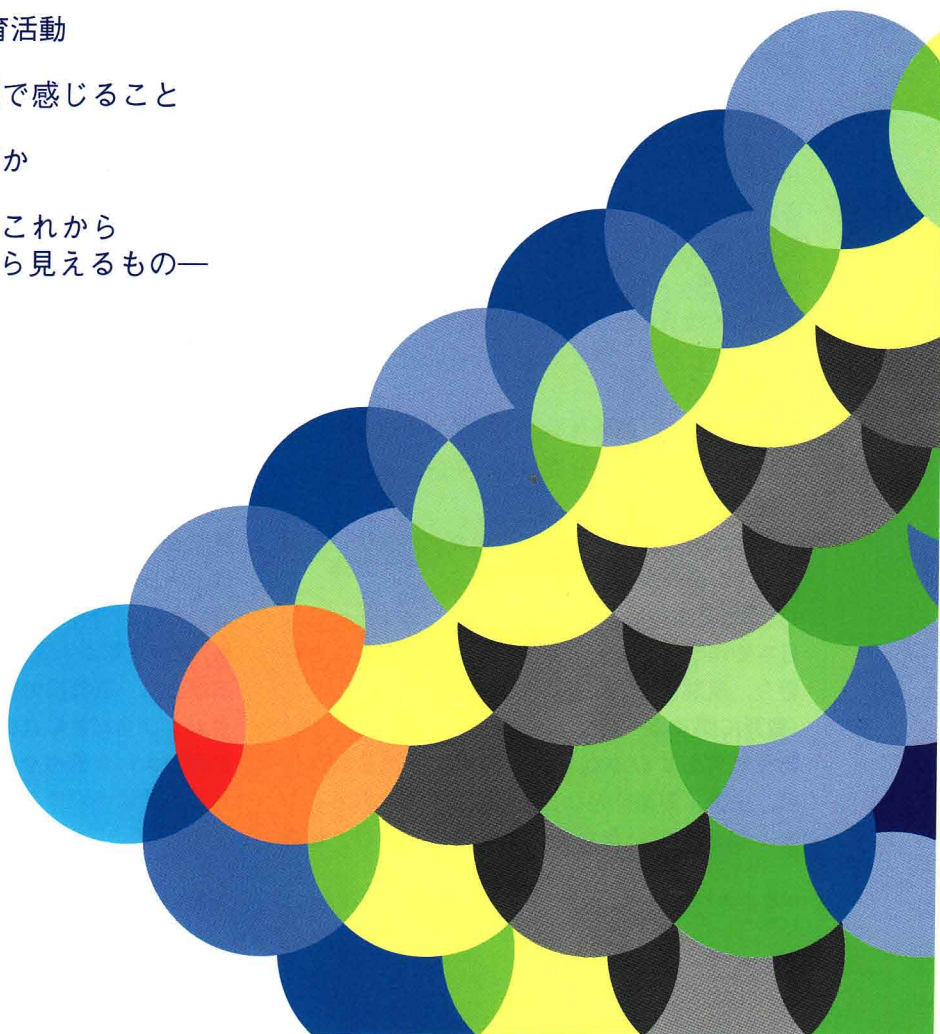
大学の物理教育

Physics Education in University

2008

VOL.14 NO.3

- 特集 若手研究者の教育活動
- 学部教育と研究の狭間で感じること
- 理工系離れの原因は何か
- 秒の定義のこれまでとこれから
—単位の定義変遷から見えるもの—





実験コンテストの様子。一人ひとりに実験キットが与えられた。



ゾーンプレートの実験



プラグ回折の実験

物理チャレンジ 2008 全国大会(本文 139 ページ参照)

物理チャレンジ 2008 全国大会 実験コンテスト



長谷川 修司

物理チャレンジ・オリンピック日本委員会実験問題部会
東京大学大学院理学系研究科

1. はじめに

2005年の世界物理年以来、毎年8月に全国物理コンテスト「物理チャレンジ」が開催されている¹⁾。第4回目となった2008年には、小学生から高校生までの約700名の応募者が全国から集まった。6月に全国一斉に行われた理論試験および実験課題レポートの予選を勝ち抜いた106名の中高生が岡山県倉敷市の山陽ハイツに集まり、8月3～6日に3泊4日の合宿形式で全国大会が行われた。そこで行われる理論および実験コンテストは、国際物理オリンピック(International Physics Olympiad, IPhO)に倣い、それぞれ5時間におよぶ長丁場の試験であり、2日間にわけて行われる。大学入試問題とはひと味もふた味も違い、知識を問うのではなく、論理的思考をじっくり進めてゆけば正解にたどり着く問題構成になっている。この大会は、翌年のIPhOに派遣する日本代表選手候補者の選考会も兼ねており、高校2年生以下の生徒たちが積極的に参加している²⁻⁴⁾。毎年、数人の中学生が全国大会に勝ち残っているのは頼もしい限りである。

本稿では、特に実験コンテストの内容を紹介する。日本では、あまり例のない実験の試験なので、これが物理チャレンジの大きな特徴となっている。選手一人ひとりに実験キットが与えられ、誰に相談することもなく、一人で測定およびデータ解析をする。実験を進めるうえでの要領の良さ、測定の正確さ、臨機応変な対応と工夫、データのグラフ化、そこから目的とする物理量を求める理論的解釈などの実力が問われる。これはIPhOの実験コンテストを真似ているが、国内の高校では実験があまり行われていない現状をふまえ、測定誤差解析だけは国内大会ではほとんど要

求していない。また、実験の前提となる基礎知識も必要に応じて問題冊子に記載しているところがIPhOと違う。2005年の物理チャレンジでは、発光ダイオードからの光の波長とエネルギーを測定して、最後にはプランク定数を求める問題であった。2006年には、強力磁石を使った渦電流・ガウス加速器・電磁誘導の実験。2007年には振動現象の力学実験がテーマであった。2008年の実験コンテストの課題は、超音波を使い、さまざまな波動現象を実験して体感する内容であった(p.108 口絵参照)。

実験コンテストの最も重要な目的は、実際に実験し、その結果に理論的解釈を与えることによって、理論に偏りがちな物理に対するイメージを少しでも矯正することである。だから、高校物理の内容でも、実験に必要とされる基礎的な知識は、問題冊子の冒頭で解説することによって、理論的知識の不足が実験コンテストの妨げにならないようにしている。しかし、試験なので、実力の差が出るように簡単な問題から始め、相当高度な測定とデータ解析までもを要求する。中学から高3までレベルの差がかなりあるすべての選手に対して、5時間という試験時間に適切な量と質となることが要求される。また、一人あたり1～2万円程度予算で実験キットを製作しなければならないという制約もある。実験問題部会は半年以上かけて実験問題の作成および実験キットの試作を行った。

今回使用した超音波送信・受信装置は、実験問題部会の中で独自に設計したオリジナル装置である。受信した超音波の強度だけでなく、受信波と発信波との位相差を測定できる。そのため、等位相面(波面)を描くことが可能となっている。それ

により、位相、振幅、干渉、回折など波動の基礎事項を実験で会得することができる問題設定となっている。今年は、実験部会が製作した試作器をもとに(株)ナリカによって110台の実験キットが製作された。

2. 実験コンテストの内容

具体的には、下記の5テーマの実験課題を課した。問題冊子および解答用紙は物理チャレンジのホームページ <http://www.phys-challenge.jp/> から入手できる。

【課題1】超音波の波長と音速の測定

図1に示すように、向かい合わせに置いた発信器と受信器の間の距離を少しずつ変えて位相差を測定する。そうすると、位相差が 2π の周期で変化するので、1波長の長さを求めることができる。その際、定規の読み取り誤差も考慮して、波長の測定誤差も計算する。誤差計算の式は与えた(IPhOでは与えられていない)。また、周波数(既知)と測定された波長から音速を計算する。

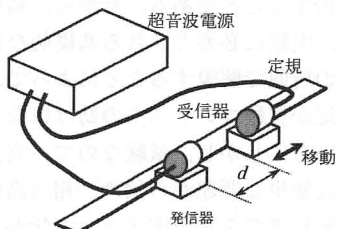


図1 波長の測定.

【課題2】二重スリットの干渉実験

ヤングの二重スリットの干渉実験を、強度を測定することによって体験する。二重スリットを通過した超音波の強度が最大になる地点を方眼紙上に記録し、図2(b)のような点列を得る。それを適切につないで「干渉縞」の2次元的な分布を描く。次に、測定された「干渉縞」の間隔 a から、 $s \cdot a = \ell \cdot \lambda$ の関係式を用いて再び超音波の波長を求める(図2(a)に示すように、 s は二重スリットの間隔、 ℓ はスリットから観測地点までの

距離)。その結果を課題1で求めた波長と比較し、どちらが測定精度の高い測定か考える。さらに、「干渉縞」の2次元的な分布から、その規則性を考察し、双曲線になっていることを導く。

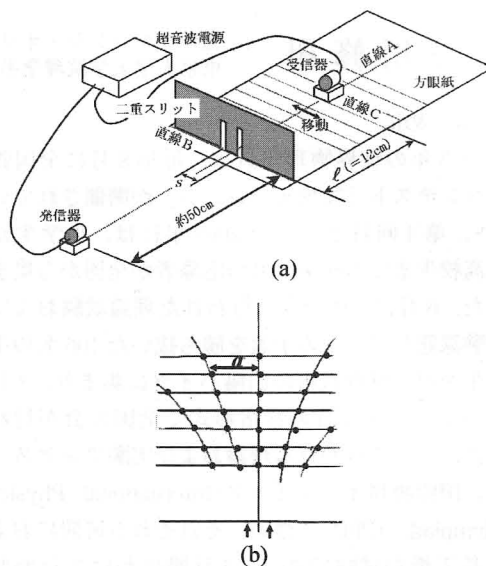


図2 (a)ヤングの二重スリット実験配置、および(b)解答例.

【課題3】ゾーンプレートによるレンズ作用

多数のスリットを一定の規則で開けたついで超音波に対して凸レンズ作用を持つ。これをゾ

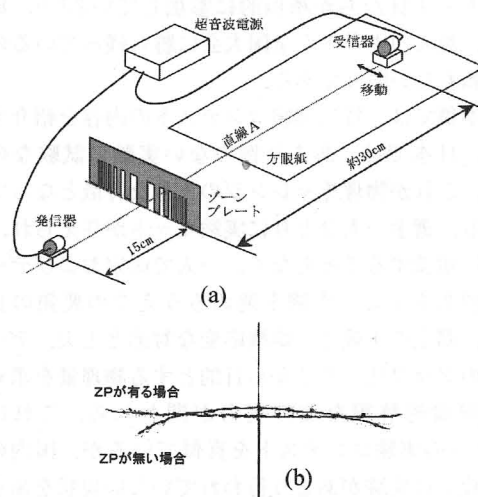


図3 (a)ゾーンプレートの実験配置、および(b)解答例.

ーンプレート(ZP)という。このことを波面の形を測定して調べる。まず、図3(a)に示すように、発信器をゾーンプレートの焦点に置き、ゾーンプレートを通過した超音波の波面が平面波になっていることを測定する(図3(b))。つまり、ゾーンプレートがないときの波面が円状であるのに対して、ゾーンプレートを置いた場合には平面となっていることを、等位相面を描いて作図する。次に、発信器をゾーンプレートからやや離しておき、発散する球面波が集束球面波になることを示してゾーンプレートの焦点距離を求める。以上の実験結果をもとに、ゾーンプレートでのスリット間隔の規則性をホイヘンスの原理から考察して導く。

【課題4】反射における位相変化

超音波を硬い壁の反射板で反射させたときの位相変化を、波面を測定することによって求める。つまり、図4に示すように、まず反射板がないときの直接波の波面を描く。次に、反射板を置いて、それに対称な位置で反射波の波面を方眼紙上に描く。その後、方眼紙を反射板の位置で折り曲

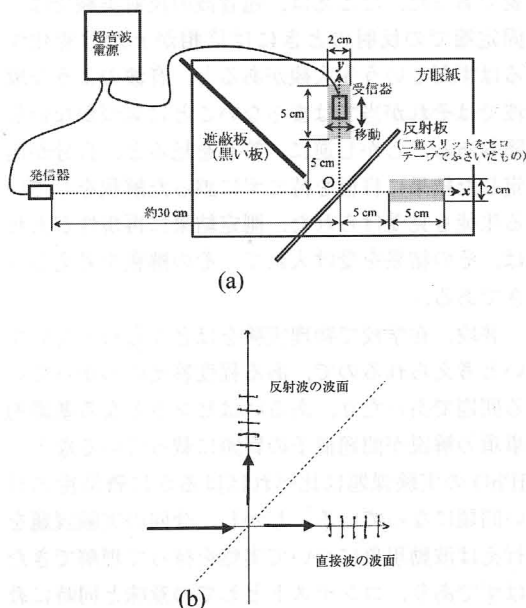


図4 (a)反射実験の配置、および(b)解答例。

げてみて、直接波と反射波の位相関係を調べる。これにより、両者の波面がぴったり重なることがわかる。空気の粗密波である超音波は縦波なので、反射板表面近傍での空気分子の動きを考察することによって、固定端での反射にもかかわらず位相が変化しないことに気づかせる。

【課題5】超音波のブラッグ回折

釘で作った結晶模型に超音波を照射し、ブラッグ回折角度を測定して格子定数を求める。そのため、図5に示すように、視斜角 θ_2 と出射角 θ_1 を等しく保ちながら、その角度を変えるために、パンタグラフ型の仕掛けを考案した。また、その結晶模型を 45° 回転させたときのブラッグ回折の測定も行い、この場合の格子定数も求め、前の場合と比較する。結晶模型の釘の間隔が見えていても、ブラッグ反射を起こしている間隔は自明でないので、教育的な問題となっているはずだったが、多くの選手は時間不足のため、課題5を十分こなすまでには到らなかった。

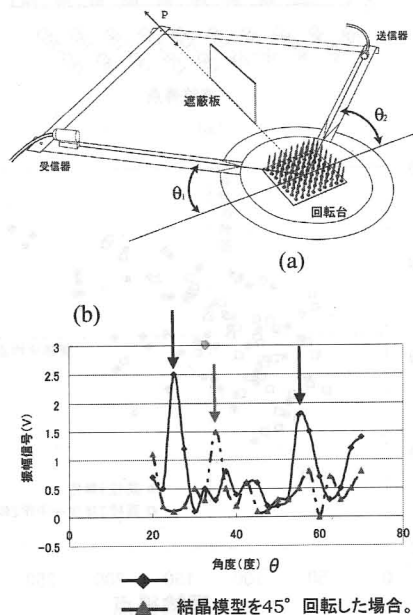
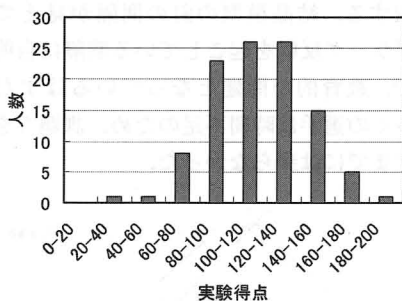


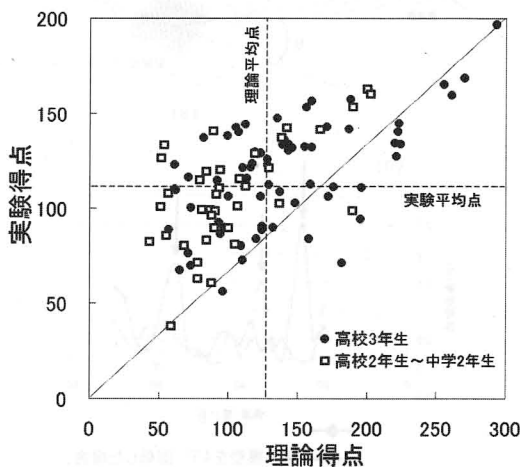
図5 (a)ブラッグ回折の実験配置、および(b)解答例。矢印がブラッグピークを示す。

3. 採点結果

配点は、問題の量および難易度を考慮し、課題1が40点、課題2が60点、課題3が40点、課題4が30点、課題5が30点とし、合計で200点満点とした。得点分布は図6(a)となり、ほぼ適切な分布を持った。ほとんどの参加者がある程度の実験をこなして得点していることがわかる。実験は問題冊子に書いてある指示通りに測定を行えば、ある程度のことはできる仕組みになっている。理論コンテスト(300点満点)の得点との相関を図6(b)に示す。理論コンテストの結果同様、上位4名は2008年の国際物理オリンピックベトナム大会の出場選手である。それ以外の参加者はほぼ50点から150点の間に分布しており、理論の成績に比べて分散が小さい。これは、教育的効



(a)



(b)

図6 (a)実験コンテスト成績の分布。(b)理論と実験の成績の相関。

果をあげるため、実験問題の冒頭に波動に関する基礎事項の解説をつけたことによると思われる。また、高校2年生以下の参加者の何人かに実験成績が優秀なものが見られる。これは、翌年のIPhOの代表選手候補者の選出のために重要なことである。つまり、理論の成績だけでは高校2年生以下の参加者がオリンピック代表選手候補者に選ばれるのは難しいが、実験コンテストがその状況にある程度緩和しているともいえる。IPhOの候補者は物理チャレンジでの金銀銅メダルまたは優良賞受賞者でなければならない。

4. まとめ

今回の実験コンテストでは、多数の数値データの測定ではなく、波面を測定して作図することが多かったので、詳細にとらわれずに全体像を頭の中で思い描きながら実験することが重要であった。そのためには、系の対称性を考慮したり、理論的に考えられる結果を予想しながら実験すると見通しが格段に良くなる内容だった。しかし、理論的にこうなるはずだ、という思い込みが強すぎると思わぬミスをすることがあるので、注意が必要であった。たとえば、超音波の反射実験では、固定端での反射のときには位相が π だけ変化するはずだという先入観があると、音波のような縦波ではそれが当てはまらないことに気づかない危険もある。しかし逆に、答案を見ると、自分が測定した結果に自信を持たずに誤った解釈をしている生徒も見受けられた。測定結果に再現性があれば、その結果を受け入れて、その解釈を考えるべきである。

普段、在学校で物理実験をほとんど行っていないと考えられるので、ある程度答えのわかっている問題であったり、あるいはヒントとなる基礎的事項の解説が問題冊子の冒頭に載っているなど、IPhOの実験課題に比べればはるかに難易度の低い問題になっている。しかし、今回の実験課題を行えば波動現象について実感を持って理解できたはずであり、コンテストとしての意味と同時に教育的な意義も大きいと考えている。

この物理チャレンジ全国大会の成績優秀者の中から9名の高校2年生が来年のIPhO日本代表選手候補者として選抜された。この生徒たちに対して10月からIPhOに向けたトレーニングが始まる。理論的な訓練については、物理チャレンジ・オリンピック日本委員会の派遣部会が中心になって通信添削を行う。実験に関するトレーニングは、在学学校または各生徒の居住地近隣の大学の先生に協力いただいて進める。年末には、候補者全員を八王子に集め、主に実験に関するトレーニングを3泊4日の合宿で行う。そして、来年3月末にもう一度3泊4日の合宿を行い、理論および実験試験を再び行って、最終的にIPhO日本代表選手5名を選抜する。その5名の生徒が7月末のIPhO 2009 メキシコ大会に出場する予定になっている。

参考文献および注

- 1) 長谷川修司 大学の物理教育 12 (2006) 50.
- 2) 毛塚博史, 江尻有郷, 長谷川修司 応用物理 76 (2007) 71.
- 3) 長谷川修司 パリティ 21-12 (2006) 52.
- 4) 原田勲 パリティ 22-12 (2007) 55.

*物理チャレンジ・オリンピック日本委員会は運営会議の下に、この実験問題部会のほか理論問題部会などを統括した物理チャレンジ実行委員会と国際オリンピック派遣委員会からなる。まお、今年の実験課題は、以下の実験問題部会メンバーの献身的な協力のもとで実施することができた。敬称略で記して感謝いたします。光岡薫 (副部会長, 産総研), 毛塚博史 (東京工科大), 永谷幸則 (岡山光子量子研), 近藤泰洋 (東北大), 浅井吉蔵 (電通大), 右近修治 (横浜桜陽高), 呉屋博 (長崎大), 田岸義宏 (筑波大), 細川瑞彦 (情報通信研究機構), 三門正吾 (千葉大), 石井亀男 (筑波大), 小牧研一郎 (大学入試センター), 向田昌志 (九州大), 味野道信 (岡山大), 徳永万喜洋 (遺伝研)。

連絡先 E-mail : shuji@surface.phys.s.u-tokyo.ac.jp

