

#### (4) 科学塾

- 概要： 広島大学の教授が，少人数の生徒を対象に一つのテーマを4回連続で多様な実験を織り交ぜて分かりやすく指導し，生徒に対して科学の深さブラックボックスをこじ開ける楽しさを体験させ，自ら学ぶ心を育てる動機付けをめざします。
- 対象者： 高校生
- 特徴：
  - ・ 広島大学の教授が，少人数の高校生を対象に教科書にとらわれないハイレベルな科学を集中的に指導
  - ・ 現代の松下村塾科学版をめざす
  - ・ 中学や高校の理科の先生や理学部，教育学部の学生なども参加したきめ細かな指導体制
- 開催：
  - ・ 日時：
    - ・ 平成17年10月30日（日）午前10時半から午後4時まで
    - ・ 平成17年11月6日（日）午前10時半から午後4時まで
    - ・ 平成17年11月13日（日）午前10時半から午後4時まで
    - ・ 平成17年11月20日（日）午前10時半から午後4時まで
  - ・ 場所： 広島大学 理学部実験室
  - ・ 参加人数： 22人
  - ・ テーマ： 「高校生がチャレンジする相対性理論の世界」
    - ★ 時間とは，空間とはなんだろうか？
    - ★ 特殊相対性理論の世界を考えよう
    - ★ 特殊相対性理論が必要な高速粒子の速度測定に挑戦しよう
- 実施体制
  - ・ 塾長：  
広島大学 大学院理学研究科 大杉 節 教授
  - ・ 支援教員等：

大学院教育学研究科	教授	林	武	広
地域連携センター	教授	塚	本	俊
〃	助教授	山	本	公
福山市立駅家中学校	教諭	占	部	正
国立教育政策研究所教育課程研究センター	教育課程調査官	呉	屋	博
(財)マツダ財団	事務局長	森	川	一
				美
  - ・ 学生スタッフ：  
理学部，教育学部，教育学研究科の6名

## ◆ 講師報告

広島大学大学院 理学研究科 大杉 節 教授

### 1) 事業の目的

2005 年はアインシュタインが特殊相対性理論を世に発表してからちょうど 100 年目に当たるため、わくプロ科学塾においても特殊相対性理論を取り上げることにいたしました。相対性理論ほど一般に関心を持たれている物理の理論はありません。それが証拠にたくさんの一般向け解説書が書かれています。それにも関わらず真の理解者が少ない、または誤解している人が多い有名理論でもあります。解説書とともに「相対性理論は間違っている」とする本が未だに時々見受けられる不思議な話題性のある理論です。

### 2) 事業の内容・方法

そこで、「高校生にも解る特殊相対性理論」をテーマに今年度の科学塾を開催致しました。基本となる物理現象が常識の世界と大きく異なる条件での理論であるため、いかに常識の世界から抽象化した世界に、想像力が飛躍出来るかが相対性理論の理解のポイントになると思われまます。

従って時間を十分掛け、かつ塾生が自分で理解の階段を一步一步上って行くような授業とする様に工夫することにしました。

集まった塾生は、どうしても参加したいとの希望を汲み中学生一人を含めて合計 22 名でした。10 月の最終日曜日の 10 月 30 日を初回に 11 月 20 日までの 4 日を当てました。今回初めて日曜日を使って開催致しました。参加者は全て相対性理論に強い思い入れがある生徒ばかりであったのでとても活発な質問の出る塾になりました。

#### ープログラムー

- |           |    |   |
|-----------|----|---|
| 10 月 30 日 | 午前 | 開講式、アインシュタインの紹介 DVD 鑑賞  |
|           | 午後 | 相対性理論の扱う「空間」と「時間」について<br>運動と静止、座標系と慣性系  |
| 11 月 6 日  | 午前 | 宇宙空間でお互いに一定速度ですれ違う二人の宇宙飛行士の<br>どちらが動いているか決められないこと。二人の相対速度のみ<br>観測出来ること（相対性原理）。<br>「光速一定」とは？光とは？ |
|           | 午後 | 相対性理論の出発点になった「光速一定」と「相対性原理」を<br>満たす、相対的に運動している観測者の間の関係を示す変換<br>「ローレンツ変換」の導出を塾生がそれぞれ試みる。         |
| 11 月 13 日 | 午前 | ローレンツ変換の復習及びその結果の解釈<br>時間の遅れをローレンツ変換から導き出す<br>常識の世界との繋がり、関係など                                   |
|           | 午後 | 時間の遅れとは？ それを証明する物理現象の例  |

11月20日 午前 進行方向への長さの短縮とは？その他相対性理論から導かれる結論と、世間で相対性理論を誤解する元になっている種々のパラドックスの正しい解釈  
相対性理論の誕生により変わった人類の宇宙観  
もう一つの相対性理論である「一般相対性理論」の話とブラックホール  
午後 光速の測定実験  
終了式、終了証書の授与

### 3) 事業の成果及び今後の課題

非常に熱心に考えて、相対性理論の神髄を理解しようと精神を集中している様子をととても頼もしく感じました。相対性理論の理解には常識の支配する世界からの飛躍が必要ですから、しっかりと相対性理論の世界の理解が根付いたかどうかはなかなか計れませんが、少なくとも相対性理論に対する理解や感覚のバリエーションは以前に比べて遙かに低くなったと思います。

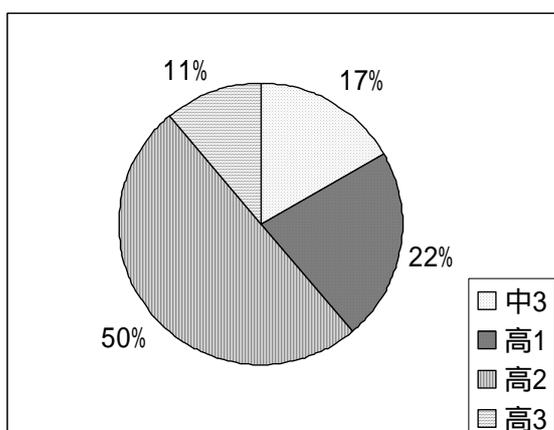
空気中の光速測定の実験は、光センサーが故障でうまく働かなくてうまく測定できませんでした。

「ローレンツ変換」の導出など、一人一人の塾生のより良い理解の手助けに、大学院生達が例年通り活躍しました。またいつもの様に科学塾レギュラー・アシスタントの先生方にもお助けいただきました。たくさんの方々の協力を得て、今年度も大変成功裏に終了したと考えています。

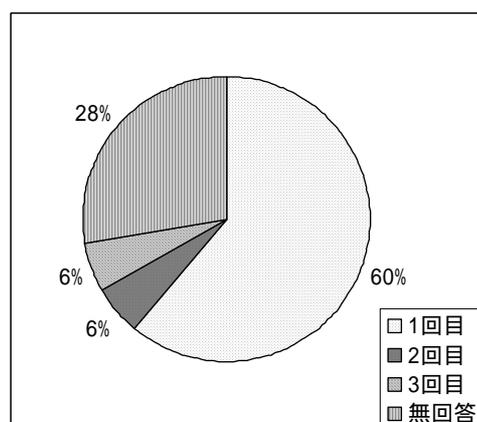
◆参加者へのアンケート調査の結果

本年度は世界物理年にあたることから、アインシュタインの相対性理論を深く学ぶことをテーマとした内容で実施した。参加者アンケートは4回の開講日全てで実施した。

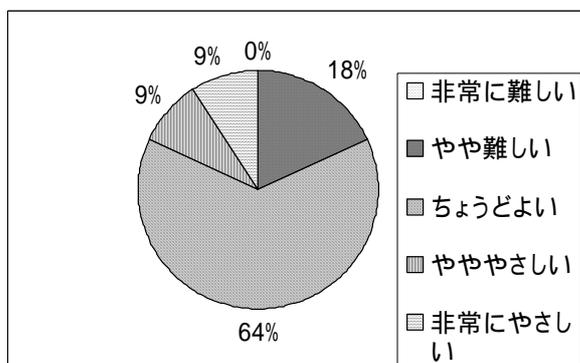
①参加者は高2が5割，中3が3割であったが中3も2割弱参加している。また，参加回数は，②初めてが6割であり，3回目の生徒もいた。また③高校の授業での実験の量が少ない，あるいは全く少ないと答えた者が7割以上であり学校での実験が少なく科学塾での実験に期待が大きいことを示している。高校物理を履修している者に難易を尋ねたところ，難しいとしたものは2割以下であり，この塾への参加者は物理が得意であることを示している。



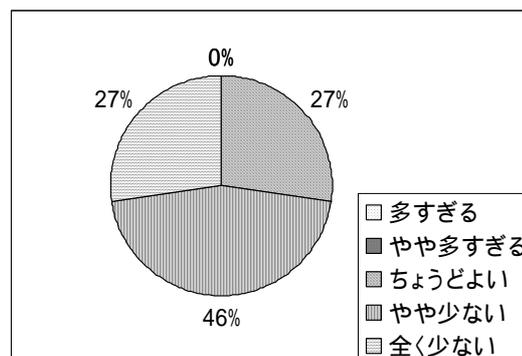
①参加者の学年



②参加回数



③学校の物理の難易



④学校の物理の実験量

生徒の自由記述から

物理学に対し，日常現象から，宇宙のことまで幅広い夢や希望が語られている

物理を勉強することに、どのような夢を持っていますか（現在と将来）

<将来について>

- ・将来的には、物理が応用できる職業に就ければ良いと思う
- ・物理ということより・・・理科全体を通してたくさんの事を知って社会に貢献した

い。

- ・物理の研究者になりたい。
- ・物理学とは、なにかを理解して、将来の視野を広げていきたい。
- ・将来は宇宙物理学を勉強したいです

<思考の方略として>

- ・自分が生活している空間とはどのようなものなのか知りたい。
- ・夢まではいかないのですが、今起きている現象を物理をつかって、考えてみたい
- ・今は、ただ勉強していくしかないけど自然に起こっている物事の正体が分かっていくのが面白い。将来的には、天文関係に行きたいので、世界観が広がることに夢がある。
- ・世の中の日常的な疑問を解決してくれる
- ・身の囲りで起る現状を、物理的に説明できるようになりたいです
- ・物理を勉強することで、日常で起きる現象をある程度科学的に見ることができるようになりたい

<発見・直接的な活用>

- ・宇宙の新しい秘密を見つけたい。
- ・ロボットを作るのにやくだてたい。

今回のテーマ（相対性理論）を深く学ぶことに対し、どのようなことを期待しますか

<思考の拡張>

- ・これまで自分で思っていた時間や空間に対しての考えが、物理学的に、変わる
- こと
- ・少しでも世界観がかわればと思っています。
- ・色々な方向からの考え方を身につけたい。
- ・自分の考えを広げたい。
- ・難しいと思うが、日常で起きていることや日常では起きないこととかを相対性理論で考えられるようになりたい

<学ぶ>

- ・今回のテーマは全く、理解できていないので 4 回の授業でしっかり理解していく
- く
- ・計算などもふまえて話しをして欲しいです
- ・自分が生活している空間とはどのようなものなのか知りたい。
- ・相対性理論のことを今年の夏、ニュートンで紹介していて合わない点があることも知り、もっと知りたいと思った。(宇宙のことがもともと好きで、感心があった)
- ・天文に関係の深いテーマなので、まだ明らかでない宇宙についての考え方が、少しでも学べればいいと思う。
- ・「相対性理論」という言葉をよく聞くのですが、どうゆうことなのか、今回の授業で、しっかりとわかれば、うれしいです。また、広大でこういった実験などができるのも、たのしみです。
- ・聞いていて興味がわいてきそうなこと

<活用>

- ・今回学ぶ相対性理論について今後学ぶ物理に生かすことができれば良いと思う。

今回の科学塾のように、大学に来て授業を受けることにどのようなことを期待していますか

<高度な学びへの期待>

- ・ 専門の先生にお教えていただけるということで、より深く教えてくれることを期待しています
- ・ 高度な知識を身に付けたい。
- ・ 高校の授業とは違う高度なことを学べることを期待している
- ・ 普段の高校での物理の授業より高度で、専門的な知識を得られること
- ・ 自分の知らない専門分野について学ぶことができる
- ・ 学校での授業よりも、より専門的な学習ができると思っています。また、これを機会に、物理について、もっとよく、しりたいです。
- ・ 少しでも大学で学ぶようなことを理解できるようになりたい
- ・ 物理の大学の内容が分かることで、これからの勉強に活かしていくこと
- ・ 新しいことを学ぶこと。
- ・ 学校で考べない事を考びたい。
- ・ 高校では無理な実験を見たい。

<わかりやすさ>

- ・ わかりやすい授業をうけたいです。約 5 時間も講義があるらしいのですが、初めて知ることがあるといい。
- ・ 高校では人数が多いが、今回は少人数なのでワンツーマンがしやすいとこ

第 1~4 回の授業を通し、最もインパクトがあったこと(または、眼からウロコが落ちたようなこと)

<相対性理論>

- ・ 相対論の美しさ…というのも、距離、時間が  $r$  を通して、きれいにつじつまが合っているところ。
- ・ 相対性理論を使って理解できる "ミュー粒子" の動き
- ・ 相対性理論の証明
- ・ 光を基準にして物理法則が成り立っている。
- ・ 光の速度が一定だということ
- ・ やっぱ、光の速さだと時間がおそくなるとか、物体の長さが短くなるという有名なことを、説明できるようになったこと。
- ・ ローレンツ変換の  $\gamma = 1/\sqrt{1-v^2/c^2}$  という値がでたこと。式の変換が大変だった一

<その他>

- ・ 実験費
- ・ やっぱり宇宙のこと。目からウロコ・・・(縄文時代と思われる)墓と天文台
- ・ 天文台を見学したこと
- ・ 天文台に行ったこと
- ・ 天文台の事や x 線とかで見た宇宙について

全体を通しての感想、要望、コメント等

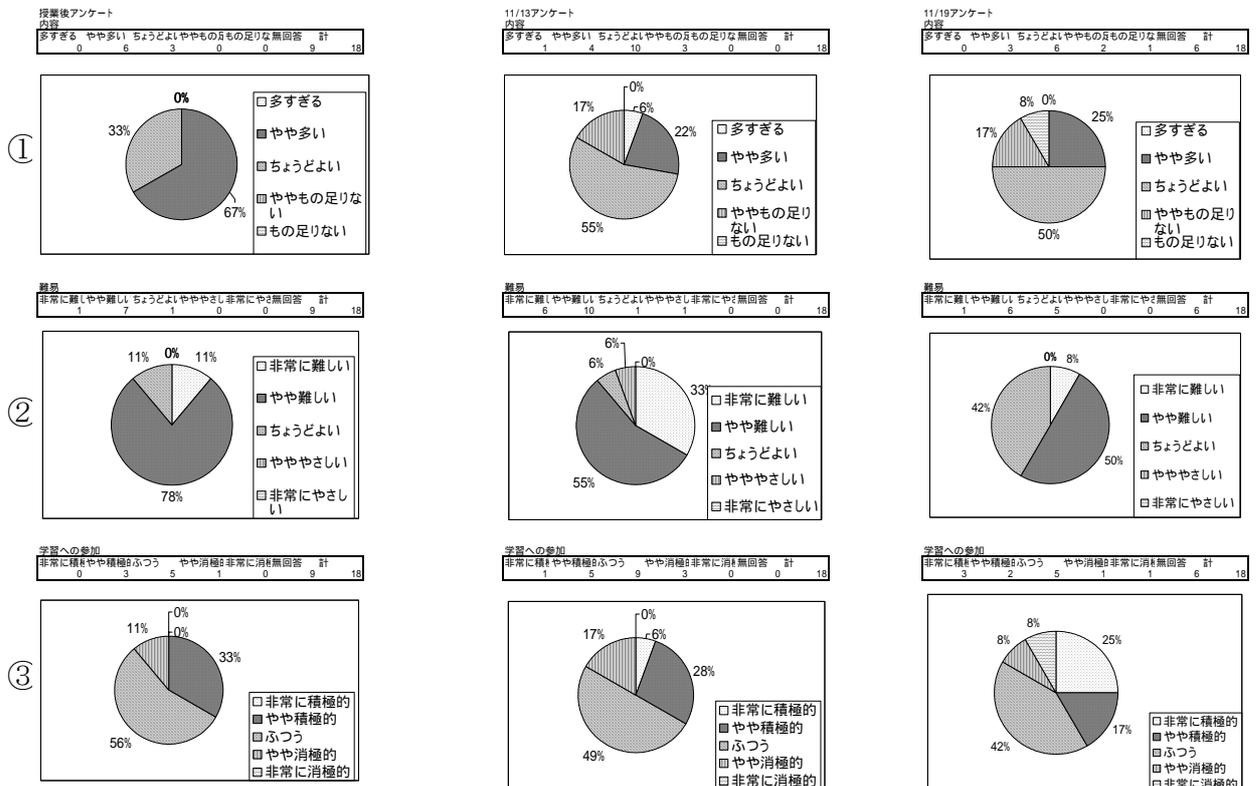
- ・ 4 日間どうもありがとうございました。非常に有意義な時間でした。これからも物理の勉強、がんばろうと思います。追加。小茂田さん、山本さんへ。数学の先生を紹介していただきありがとうございました。
- ・ 2 回目に来ていなかったのですが、 $E=mc^2$  の公式が、どこから導き出されるのかと

というのが、しっかりと理解できなかったのが少し残念でした。今まで、光のことだと考えていた相対性理論がすごく身近に感じることができたのは、これから役に立つと思います。楽しい

- ・ 4日間でした。
- ・ 弁当は今日もおいしかったです
- ・ すごく楽しかったです

### 科学塾 第1回目, 第3回目, 第4回目の授業後アンケート (第2回は, アンケート不備のためここでは省略)

第1回から第4回の授業終了時には①内容量, ②難易, ③学習参加意欲について5段階で回答させてところ下図のような結果が得られた。そのうち③については, 回を重ねるに従い, 積極的に参加した者が増加している。①についても量が多いとした者が, 減少していく傾向がみられる。②についても非常に難しい, および難しいと答えた者が減少している。つまり, 回を重ねるに従い, 次第と理解が深まり, 積極的に学習に参加できるようになったことを示している。今回は物理の中での難しい内容ではあったが, 集中的な学習を重ねる事の意義が示されたとみなされる。



授業内容に関する生徒の自由記述 (本日の授業で, よく納得できたこと (理解できたこと))

#### 第1回

<時間のズレ・空間の縮みについて(速度の限界)>

- ・  $r$  への式変形。時間のずれ
- ・  $\mu$  粒子ののび。距離のちぢみ
- ・  $\mu$  粒子のところで考えた  $\mu$  粒子が感じている距離と私たちが感じている距離が

違うこと

- ・ 時間のズレと、質量がおもくなると考えられる原理は本当によくわかりました。とくに「ふたごのパラドックス」が、パイロットと地球にいる人との時間など、とてもおもしろかったし、よくわかりました。
- ・ 光の速度に近づくことによる時間のゆがみと空間のゆがみ
- ・ 光の速さにはなれないということ、時間のゆがみや距離のちぢみ
- ・ 時間の遅れ

<計算について>

- ・ 納得できたこと…と…いうか…全体的に物理、数学系で苦手分野中心(数式)で…。原理や説明はとても面白くてわかりやすかった。過去小学生の頃から読んでいた本と被っていた所もあり、とても勉強になりました。
- ・  $r$ を出す所の式

### 第3回

<ガリレイ変換とローレンツ変換の関係(速度)>

- ・ 光速より速くならないことがわかった
- ・ ローレンツ変換
- ・ ガリレイ変換とローレンツ変換の違いについて理解できた
- ・ 光の速度の測定
- ・ ガリレイ変換
- ・ ガリレオ変換、ローレンツ変換
- ・ 先週来ていなかったのので、ガリレイ変換、ローレンツ変換が分かった。式変換が詳しく分かった

<前回の復習>

- ・ 前回の復習(ローレンツ変換)、上の事を含めて、午前中にやったこと
- ・ 先週の復習

<光の速度と質量(とエネルギー)の関係>

- ・ 光とエネルギーの関係、4つの力について
- ・ エネルギーについて
- ・ エネルギーの単位
- ・ 物質はエネルギーだということ、質量が0でもエネルギーがあるということ
- ・ 速度を持つ物体の質量が大きくなるのは光速を超えないためのつじつまあわせのようなものだという事
- ・ 先生が、大学でどのようなことをやっているのかほんとうに、よくわかりました。エネルギーについても、なんとなくですが、全体がわかったきがします。

<その他>

- ・ 宇宙論について
- ・ 理論関連。やはり数式と一緒に、というわけにはいかなかった。ただし、理論は今まで自分から好んで学習していた面もあり、それもあってよく納得した。
- ・ 難しい

### 第4回

<宇宙について>

- ・ 宇宙の構成、まだ明らかになっていない部分
- ・ 宇宙の構成物質について、本当によくわかった

- ・物質と宇宙
- ・天文の事
- ・宇宙のことについて

<天文台について>

- ・ 広大な天文台の完成度、宇宙にあるエネルギーの奥深さ
- ・ 天文台の所の空がキレイだった事と宇宙について

<その他>

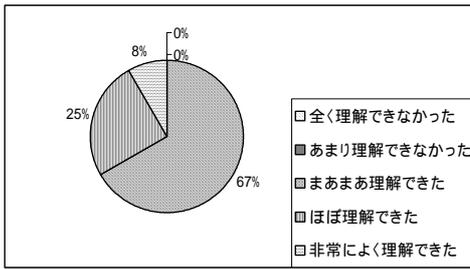
- ・  $m = \gamma m_0$ 、光速に限りなく近づく漸近線。宇宙に果てがあるかどうかはわからないということ。静止質量
- ・ 運動しているものとしていないもので互いに時間が遅れている
- ・ 素粒子のこと(基本構造)。すべて原子は**2**種類の粒子で構成されている。
- ・ 実験には失敗がつき物だということ

なお、それぞれの授業で、よく分からなかったこと、あるいは、新たに疑問に思うようになったことも毎回質問したが、相対性理論の理解に欠かせない“ローレンツ変換”，“4次元ベクトル”など、高校生にとって馴染みが無い数式や概念・考え方などが毎回のようにならなげられており、複雑な計算や変換の過程にとまどいがあったようである。これらは一度では理解できないが、4回の授業を重ねることによって、次第に理解が進み、ある程度までの理解は達成できたことが生徒の記述からも見て取れる。理論物理学のようなとりつきにくい分野であっても、今回の科学塾のように、まとまった時間を設定し、指導者とともに集中的・徹底的に議論を重ねながら、考えていくことで、理解が進むと考えられる。

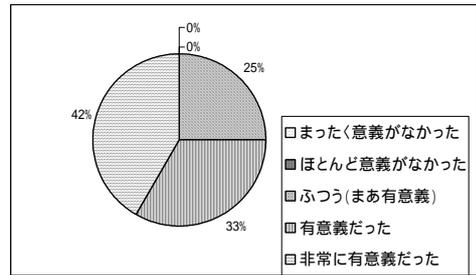
#### 科学塾 第4回目の授業後総合アンケート

以下に示すように今回の科学塾は、各項目において、十分とみなされる反応が得られている。特に次回への参加意欲は9割以上ができれば参加したいかそれ以上の意欲を示しているなど、当初の目的が十分に達成できたと考えている。

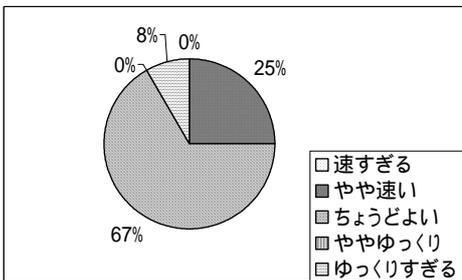
全体を通して  
相対性理論が自分なりに理解できたか  
全く理解できず 0 0 8 3 1 6 計 18



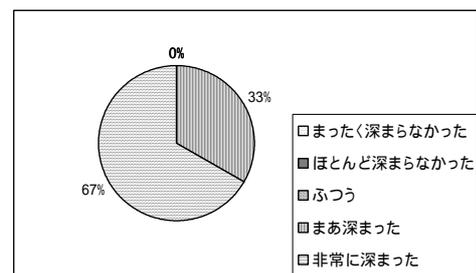
科学塾は有意義だったか  
まったく意味がなかった 0 0 3 4 5 6 計 18



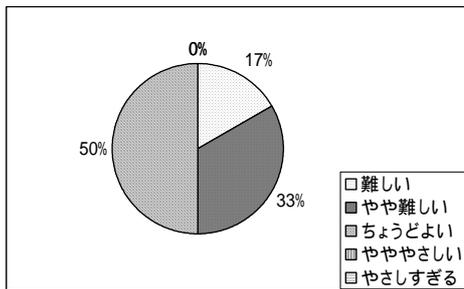
授業の進め方  
速すぎる 0 3 8 0 1 6 計 18



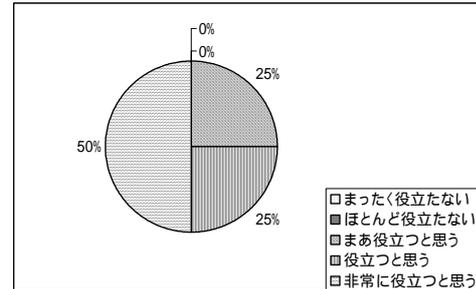
物理の面白さや興味は深まったか  
まったく深まらなかった 0 0 0 4 8 6 計 18



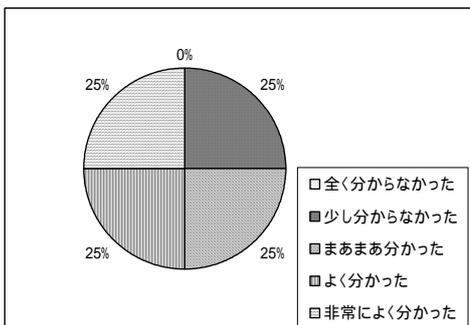
テキストについて  
難しい 2 4 6 0 0 6 計 18



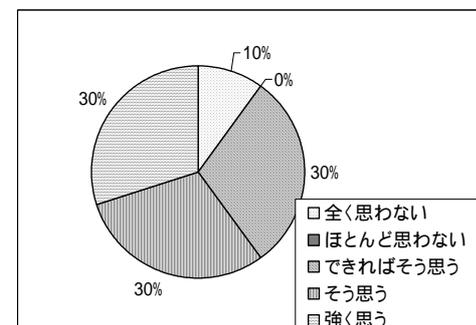
今後の勉強に役立つと思うか  
まったく役に立たない 0 0 3 3 6 6 計 18



実験の意味について  
全く分からなかった 0 3 3 3 3 6 計 18



次回への参加の意思  
全く思わない 1 0 3 3 3 8 計 18



写真

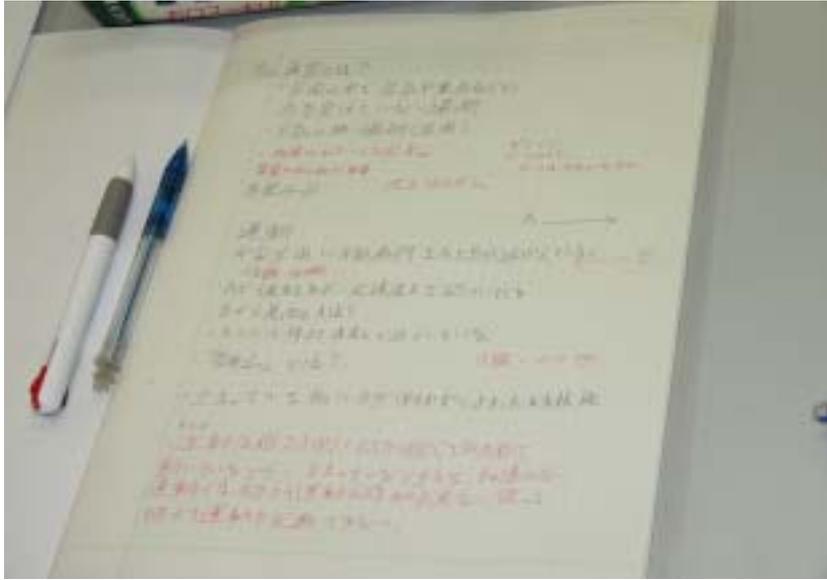


開講式

塾長からの課題  
「真空とはどのような状態か」  
について考える



課題について  
自分の意見を述べる



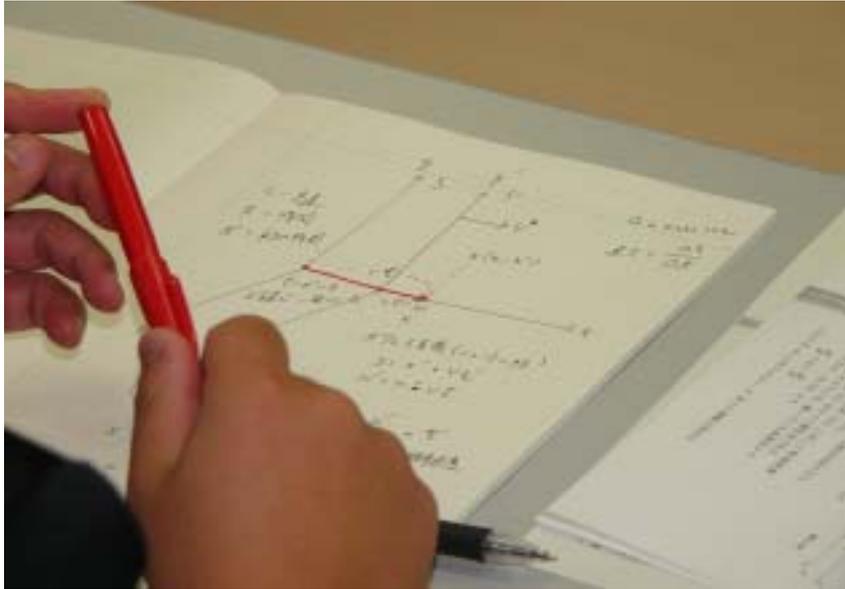
熱心な講義ノート



休憩時間も  
塾長へ質問



塾長の講義



塾長の課題を  
図式化して考  
える



学生スタッフ  
の個別指導



ロープを使って  
波を作り  
物理学的に  
イメージする



塾長の研究室を見学



理学部所有実験装置を見学



東広島市天文台を見学



修了証書の授与



◆ 募集チラシ


**科学わくプロジェクト**
広島大学プロジェクト推進事業


**広島大学 科学塾2005**

# 「高校生がチャレンジする 相対性理論の世界」

■ **アインシュタイン誕生100年記念** ■

◆ **開催日** 2005年10月**30**日(日)  
 11月**6**日(日)  
**13**日(日)  
**20**日(日)  
 延べ4回開催



大杉節教授と相対性理論を本格的に学んでみませんか？  
 科学わくわくプロジェクトでは、高校生の皆さんが大学  
 教授の指導のもとで本格的に科学を学ぶ「科学塾」を今年も  
 開催します。  
 世界物理年にあたる今年には相対性原理がテーマです。  
 宇宙や時間・空間について不思議に思っていることや疑  
 問に思うことに対するヒントが得られると思います。  
 皆さんの応募をお待ちしています。

広島大学科学わくわくプロジェクト研究センター長  
 広島大学大学院教育学研究科教授 林 武広

- ◆ **開催時間** 10:30～16:00
- ◆ **会場** 広島大学東広島キャンパス  
(大学の講義室や実験室を活用)
- ◆ **塾長** 大杉 節 教授  
(広島大学大学院理学研究科)

相対性理論は、時間、空間を記述する理論であると言われています。  
 相対性理論はどんな新しい宇宙観を私たちにもたらしたのでしょうか？  
 アインシュタイン誕生100周年に際し、  
 高校生の君も相対性の世界にチャレンジしてみよう。

- 1 時間とは、空間とはなんだろうか？
- 2 特殊相対性理論の世界を考えよう。
- 3 特殊相対性理論が必要な高速粒子の速度測定に挑戦しよう

**参加無料**

高校生  
20名

**受講希望申込み締切日：2005年10月24日(月)必着**

塾生希望者は、受講希望申込書(裏面)に添えて、時間と空間について自分の考えを400字以内にまとめたレポートを提出してください。  
 ※くわしいスケジュールなどの詳細事項は、参加者へ直接連絡します。

■お問い合わせ先  
 広島大学 地域連携センター E-mail:wakupro@hiroshima-u.ac.jp TEL (082)424-6134 FAX (082)424-6057