OUKA
The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

| | |
|---|---|
| Title | 大学が高校に求めるもの（物理編） |
| Author(s) | 浅野, 建一 |
| Citation | 高大連携物理・化学教育セミナー報告書. 2018, 29 |
| Version Type | VoR |
| URL | https://hdl.handle.net/11094/67772 |
| rights | |
| Note | |

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

# 大学が高校に求めるもの（物理編）

大阪大学大学院理学研究科
物理学専攻
浅野建一

## 自己紹介

大阪大学大学院理学研究科物理学専攻 准教授
専門は物性理論（物質の光学的性質の理論的研究）

## 経歴

東京都立町田高等学校
→ 一浪して予備校通い
→ 東京大学理科一類
→ 仏語に泣かされるも、なんとか希望の物理学科へ
→ 東京大学大学院理学系研究科物理学専攻
→ 博士号取得後５年ほどポスドク稼業
→ 現職

## これまでの学部担当科目（赤字は現在担当中）

**統計物理学 I（講義・演義）**
→ 熱力学の講義および演習（物理学科二年生二学期）

**力学 I（講義・演義）**
→ 初等力学の講義および演習（物理学科二年生一学期）

**力学 II（講義・演義）**
→ 解析力学の講義および演習
（カリキュラム再編により物理学科二年生一学期）

**電磁気学 I**
→ Maxwell 方程式まで（工学部一年生二学期）

**熱学・統計力学要論**
→ 熱力学の講義（基礎工学部二年生一学期）

**物理学の考え方**
→ 文系学生のための教養科目（文系学科一年生一学期）

## 主たるアウトリーチ活動（赤字は現在担当中）

**サイエンスカフェ「阪大大学院生による数学・物理の最前線への招待」**
**カフェマスター（2009 ～ 2010 年、計 8 回実施）**
→ 数学専攻と物理学専攻の大学院生が、駅のガレージで、
一般の聴衆に自分の専門分野について解説・対話する試み。
大学院教育改革支援プログラムの予算で実施。

**Saturday Afternoon Physics ー最先端の物理を高校生にー**
**実行委員委員長（2016 年～）**
→ 後で詳しく説明します。

# 私にとっての高校物理

数学と物理は好きだったが、高校の授業は退屈で苦痛。
とにかく公式の暗記に終始する内容にとことん嫌気がさす。
高校の授業では電磁気学も終わらない状況。
仕方がないので、山本義隆の物理入門を独習。
物理を嫌いにならずにすんだのは、この本のお陰だった。

**しかし、受験に失敗…。**

問題演習が圧倒的に足りていなかった。
基本的な問題を解くのに一々時間がかかっていた。
浪人中に通った塾で、高校物理の「面白い」授業が存在することを知る。
今思えば、当時の入試問題は難しすぎた気もする。

# 現在の理系阪大生が抱える問題点

**平均的学力の低下**

少子化により、入学時の学生レベルが低下するのは当然。
しかしこの問題は、低学年教育の工夫で、ある程度は対処可能なはず。

**より大きな問題は多くの学生が「学び」を誤解していること**

① 暗記頼み：知識が断片的。論理的考察力が欠如。
　高校物理に比べ、学ぶ「量」が増えるため追いつかなくなる。
② 最後までやりきる力の低下：面倒なこと・時間がかかることを嫌う。
　基礎的事項が身につかない。長時間頭を使えない。
③ チャレンジ精神の欠如：やらなくてもよいことを徹底的にしない。
　未解決問題に将来取り組むための準備をしている自覚がない。

**入学後学力が伸びない → 向学心を喪失**

# 文系相手の物理講義を担当して分かったこと

## 高校生が物理が嫌いになる２大理由

① 数学が苦手。文字式が出てきただけで頭が痛い。
② 公式の暗記に終始するのがつまらなかった。

① は中学から問題が始まっているが、②は高校物理が抱える問題

## 結果ではなく、基本原理から物理現象を解き明かす思考過程に面白さを感じて、物理に対する興味を取り戻す学生が多い

## 理系の学生よりもはるかに意欲・向学心がある

高校時代に記憶中心の学習に順応できた理系学生が
大学入学後につまずいている可能性？

# 文系相手の物理講義


1. **単位の解析で知ったかぶり** (1) 1
1.1 Newtonの運動方程式 1
1.2 物理量の単位 2
1.3 振り子の等時性 3

2. **単位の解析で知ったかぶり** (2) 5
2.1 波とは何か 5
2.2 津波の速度 6

3. **単位の解析で知ったかぶり** (3) 9
3.1 地震波の速度 9

4. **単位の解析で知ったかぶり** (4) 13
4.1 先週の補足：アルキメデスの王冠の逸話 13
4.2 音速 14

5. **単位の解析で知ったかぶり** (5) 17
5.1 ブラックホールの物理 17
5.2 水素原子 18

6. **潮の満ち引き** 21
6.1 万有引力の法則と重力加速度 21
6.2 潮の満ち引きは何故一日二回起こるのか？ 22

7. **月の裏側が見えないのは何故か？** 25
7.1 月の裏側が見えないのは何故か？ 25
7.2 Roche限界 26

8. **空が青いのは何故か？** 29
8.1 光は波：Youngの実験 29
8.2 光の色 30
8.3 天之蒼蒼 其正色邪 其遠而無所至極邪 30

9. **フライパンがなぜ青色に？** 33
9.1 鉄フライパンのお手入れ 33
9.2 光の干渉効果 34

10. **現代物理学前夜** 37
10.1 エネルギー保存則 37
10.2 光速の謎 38
10.3 黒体から放出される電磁波の謎 39

11. **Einsteinの光量子仮説** 41
11.1 Einsteinの光量子仮説 41
11.2 光量子仮説の実証 42
11.3 粒子と波の二重性 43

12. **光子の運動量** 45
12.1 運動量保存則 45
12.2 光の圧力 45
12.3 定在波 47

13. **de Broglie波** 49
13.1 de Broglie逆転の発想 49
13.2 電子版 Youngの実験 50
13.3 電子の定在波 51

14. **水素原子** 53
14.1 水素原子を Newton力学で考える 53
14.2 Bohrの原子模型 54

15. **エネルギーと質量の等価性** 57
15.1 Einsteinの関係式 57
15.2 関係式の導出 57
15.3 静止エネルギーと運動エネルギー 58


計算は初等的な四則演算のみしか使わないが、
結果を数式を使って「導出」する
かなり本格的な理論物理学の講義

毎回小テストを行って、自分の頭で考えさせる

### 6.2 潮の満ち引きは何故一日二回起こるのか？

地球上で働く重力に関する問題として，潮の満ち引きについて考えよう．海面の高さは一定ではなく，一日の間に規則的に高くなったり低くなったりしている．小学校の授業で，潮の満ち引きが月の重力の影響で起こるということを習った人もいるかもしれない．大昔，これについて二つの意見があった．第一の意見は，海水が月に引き寄せられて，月がある側の海面が上昇するというものである（図 6.2(a)）．第二の意見は，海水を置き去りにして地球が月に引き寄せられて，月と反対側にある海面が上昇するというものである（図 6.2(b)）．いずれの意見でも満潮は一日に一回しか起きないことになる．しかし，海釣りをやる人はご存知だろうが，満潮はほぼ一日に二度（半日に一度）起こる．Newton 力学が確立するまで，これは大きな謎だった．実際には，二つの意見で考えられた効果を両方同時に考慮したのが正しい答えである（図 6.2(c)）．

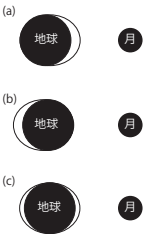


図 6.1 潮の満ち引きに対する考え．

この問題は，Newton の運動方程式に立ち戻って考える必要がある．忘れてしまったかもしれないからもう一度書いておこう．

**Newton の運動方程式**

質量 $m$ の質点の運動を考えたとき，時刻 $t$ における質点の速度を $v(t)$，質点に働く力を $F(t)$ とすると，以下の近似式が成り立つ．

$$m\big(v(t+\Delta t)-v(t)\big) \approx F(t)\Delta t \tag{6.4}$$

$\Delta t$ を小さくすれば近似はいくらでも正確になる．

地球の質量を $M_{\text{地}}$，月の質量を $M_{\text{M}}$，地球と月の距離を $r$，地球の半径を $R_{\text{地}}$ とし，宇宙空間に静止した観測者から地球の中心の速度 $V_{\text{地}}$ を観測すると，わずかな時間間隔を $\Delta t$ として，Newton の運動方程式，

$$M_{\text{地}}\big(V_{\text{地}}(t+\Delta t)-V_{\text{地}}(t)\big) = G\frac{M_{\text{地}}M_{\text{月}}}{r^2}\Delta t \tag{6.5}$$

が成り立つ．ただし，時刻 $t$ の瞬間に地球と月の中心を結ぶ直線の方向の運動だけを考え，速度や力の正負を地球から月へ向かう向きを正の向きとして定めた．また，地球や月の自転の影響を無視している．右辺は地球が月から受ける万有引力を表す．一方，月に面した側の地表上で質量 $m$ の物体の運動を考えると，宇宙空間に静止した観



## 9. フライパンがなぜ青色に？

### 9.1 鉄フライパンのお手入れ

筆者は妻が東京勤務のため，平日は単身赴任生活を送っている．自炊をしているのだが，最近手入れを怠っていたフライパンが頻繁に焦げ付き，赤錆が目立つようになってきた．愛用しているのは表面加工のない鉄フライパンである．テフロン加工のフライパンは，最初だけすべりがいいが，コーティング材が禿げてすぐに駄目になるし，体に害がないのだとしても，心理的に禿げたコーティング材を食べるのは気分が悪い．実は，よほどの安物でなければ，鉄フライパンは赤錆が出るまで傷んだ状態になってからでも再生できて，末長く使える．私がたまにやっているフライパンの再生手順を紹介しよう．

焦げ付いた汚れと赤錆を落とすのが第一段階である．下宿が IH コンロなので私はできないのだが，本当は事前にガスコンロ（強火）でフライパンを焼くとよい．汚れを炭化させて落としやすくするのである．金属製のヘラやマイナスドライバー等で目立つ汚れを削り落としたら，100-200 番くらいの紙やすり（コーナンで買える）でフライパンの表面を磨く．汚れたフライパンの表面が全面鉄本来の銀色になるまでとにかく磨く．最後にクレンザーで表面をピカピカに仕上げ，水で綺麗に洗う．

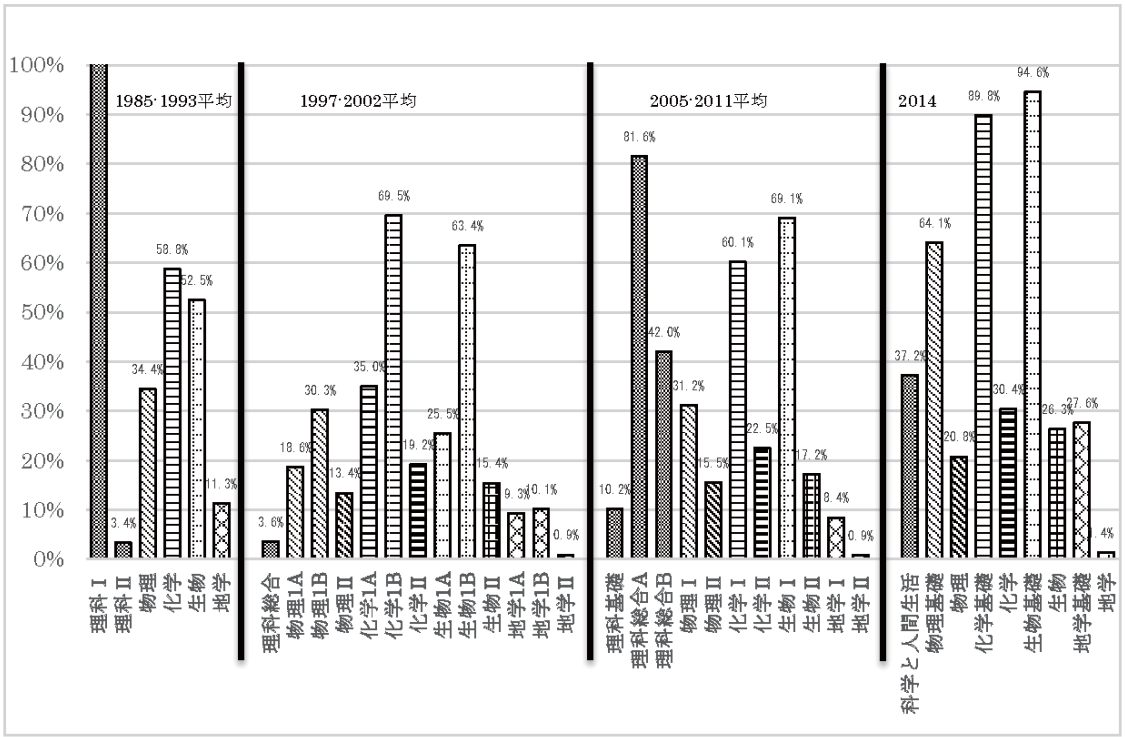
ここから第二段階．磨いたフライパンを強火で空焚きする．そうすると不思議なことに，銀色だったフライパンの表面が黄色がかった茶色になり，そこから徐々に青色に変化する（図 9.1）[*1]．最終的にはフライパン表面全体が美しく青光りした状態になる．この状態になったら，一旦冷ました後で，油をたっぷり引いて野菜くずを炒めて，油慣らしをする．こうして仕上げたフライパンは少々のことでは錆びない．以下では，フライパンを空焚きしてできた青色の起源について考えたい．

図 9.1 青いフライパン

[*1] IH コンロの場合，空焚きし過ぎるとコンロが壊れるから，過熱状態にならないように何回にも分けて作業すること．

# 理科科目の履修率

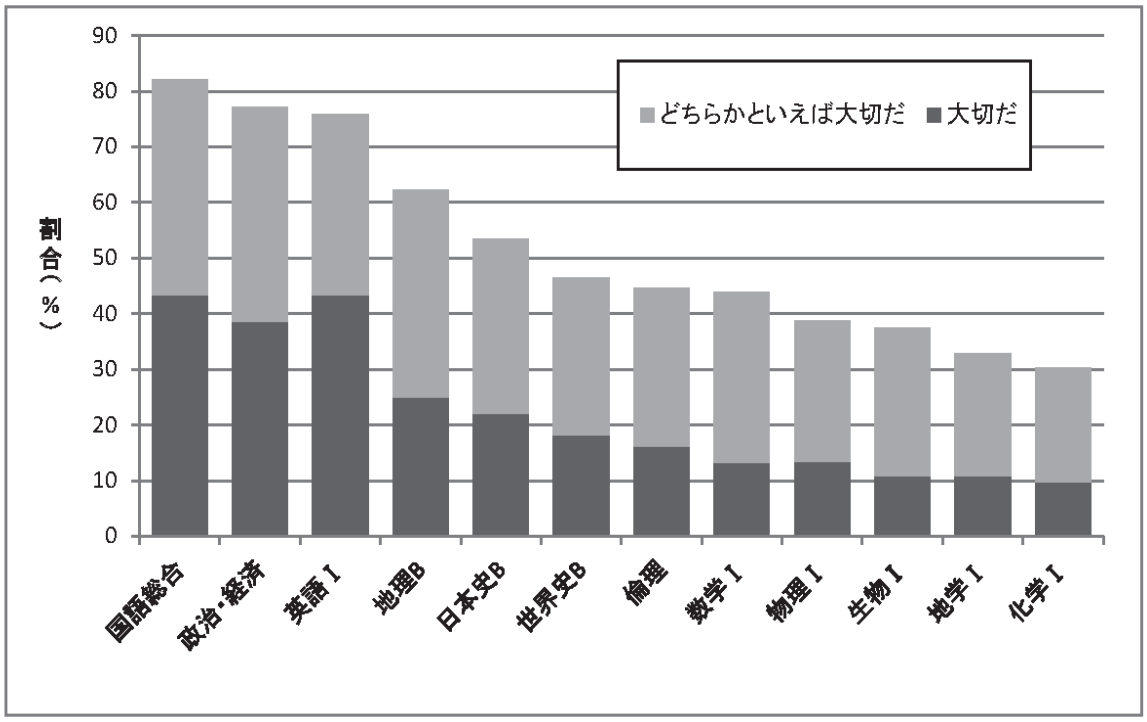
「これからの高校理科教育のあり方」
日本学術会議、2016 年




物理は今も昔も低いまま

# 大切な科目だと思うか？

「これからの高校理科教育のあり方」
日本学術会議、2016 年




## 理学系の科目の低さ＝国民の意識

# 物理学科２年の力学講義を担当して分かること

物理学科学生の４割弱の学生が以下の病にかかっている

① すべてが Newton 方程式から導かれるという思想自体を
分かっていない、あるいはそれを重要と考えていない。
公式や結果の暗記が大事だと思っている。

② 計算力が恐ろしく低い。１年かけた大学数学は身についていない。
高校数学も衰えている。この後この遅れを取り戻すことはできない。
物理を語る言語が数学だという認識が欠如している。

③ 課題を最後までやり遂げる根気がない。
計算力がなくて簡単な問題に異常に時間がかるのが一因。

④ どこが理解できていて、どこが理解できていないか、
自分で判断できない（漫然と理解できているつもりになる）
自分で習熟度がわからないので、達成感に対する喜びもない。

# 高校物理に求める・初年度教育で目指すべきこと

## ① 暗記学習からの離脱

高校物理は微積分を使わないので、限界はあるが、
直観的な説明を組み合わせながら十分対応できる。
（準備は大変。浪人時代に受けた塾の講義や、文系向け講義）
ただし、反復学習で理解が脳に染み付く段階に進むことは重要。

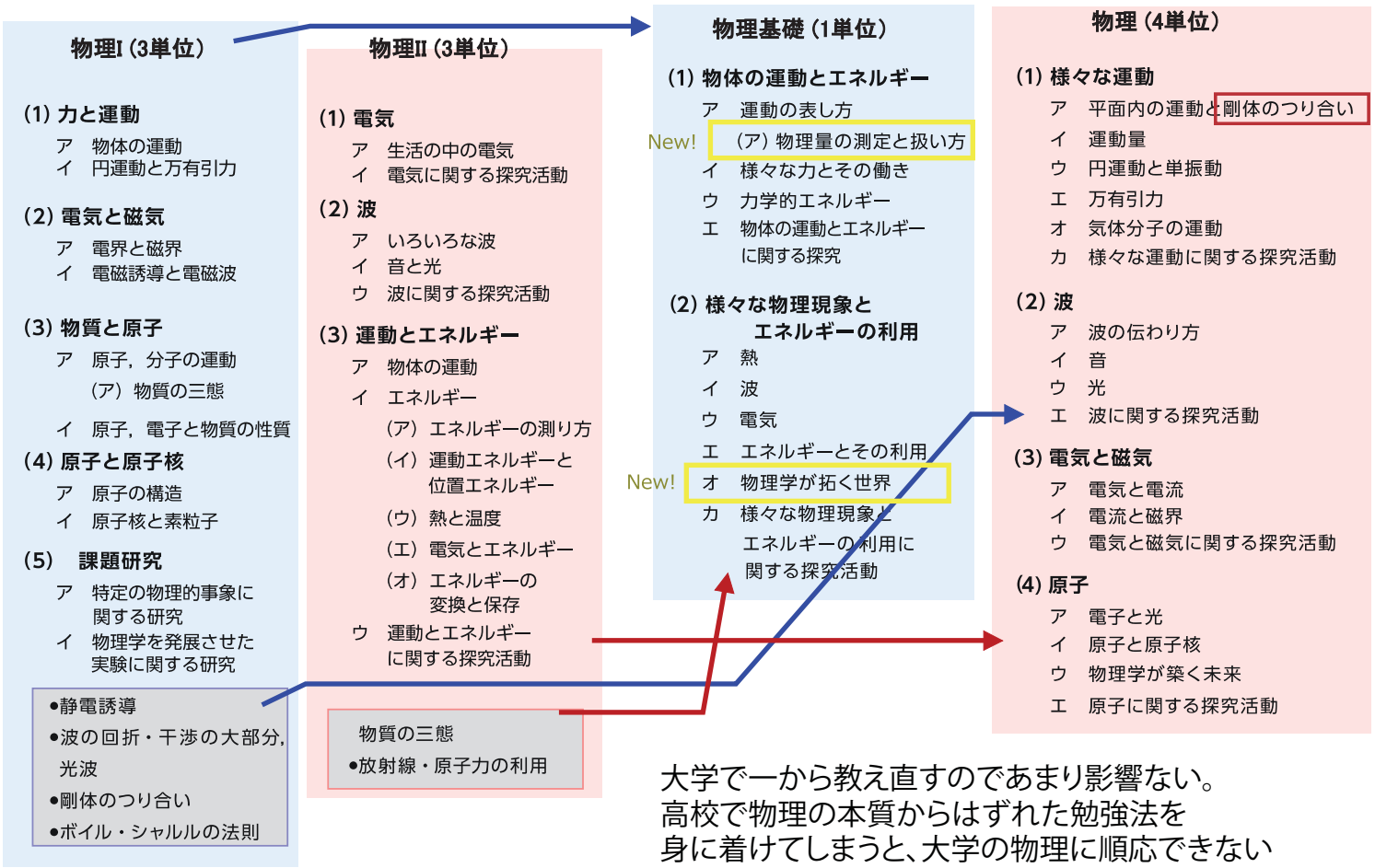
## ② 最後までやり切る力の育成

精選した課題で良いので、時間をかけて考えさせる訓練が要る。
ただし、やっていることの先に待っているものを示す必要あり。

## ③ チャレンジ精神の育成

答えのある問題を解けるようになることや、入試に通ることのみが
目標でないことを理解させる必要あり。将来、見たことのない問題に
対処する物理的思考法を身につけることが最終目標。

# 新課程への変更




大学で一から教え直すのであまり影響ない。
高校で物理の本質からはずれた勉強法を
身に着けてしまうと、大学の物理に順応できない

# 高校生に対する取り組み
# Saturday Afternoon Physics（SAP)

高校物理における
（１）暗記に頼った知識偏重の教育
（２）体験学習の不足
を少しでも改善したい

欧米で先行している Saturday Morning Physics (SMP) を
手本にして始められ既に１０数回行われている取り組み

講義：ミクロからマクロまで物理学全体を俯瞰する講義
コーヒーブレイク：講義内容と連動した体験学習

物理学の各分野を巡り、その思想に触れる。
基礎から最先端の物理研究の紹介まで
高校ではなかなか行えない体験学習の場を提供する
物理学に対する興味を持ち続けてもらうことが目標

## SAP をやってみて わかったこと

高校生一年生の参加者が多い
女子学生の参加数が多い
物理学に対する興味はすごい
より進んだ知識を渇望している

| 開催年 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 参加者数 | 171 | 173 | 143 | 220 | 171 | 179 |
| 男性/女性 | 126/45 | 130/43 | 94/49 | 133/87 | 105/66 | 124/55 |
| 高 1/高 2 | 106/54 | 112/52 | 109/27 | 145/57 | 105/43 | 103/54 |
| 平均出席者 | 141 | 149 | 111 | 179 | 137 | 142 |
| 4 回以上出席 | 146 | 158 | 116 | 184 | 138 | 149 |
| 参加高校数 | 38 | 43 | 42 | 46 | 58 | 69 |

| 開催年 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 参加者数 | 192 | 190 | 175 | 173 | 153 | 158 |
| 男性/女性 | 128/64 | 119/71 | 113/62 | 115/58 | 91/62 | 98/60 |
| 高 1/高 2 | 100/59 | 90/65 | 106/42 | 76/75 | 65/68 | 86/46 |
| 平均出席者 | 155 | 146 | 139 | 141 | 113 | 120 |
| 4 回以上出席 | 155 | 150 | 140 | 140 | 110 | 120 |
| 参加高校数 | 93 | 79 | 60 | 60 | 63 | 73 |

**生じた疑問**

高校三年生までこのモチベーションを維持できているのか？
物理を志望する学生の女性比率が著しく低くなるのはなぜ？
これらの答えはすべて高校の物理教育にあるはず。

# 本年度の Saturday Afternoon Physics

**10/14**
(1) 入学式
(2) 自然界をめぐる旅へのいざない　藤田佳孝 ( 核物理研究センター )
(3) コーヒーブレイク：身の回りの物理を体験しよう
　久保等 ( 工 )，藤田佳孝 ( 核物理研究センター )，技術部職員
(4) 宇宙への旅立ち – 宇宙のどこかにある第 2 の地球と生命を探す旅 –　芝井広（理）

**10/21**
(1) 量子の世界への旅立ち – 光の物理から量子力学へ –　渡辺純二（生命）
(2) コーヒーブレイク：分光計で見る量子の世界　福田光順（理）
(3) 物質の世界への旅立ち – 電子一個を制御する –　小林研介（理）

**10/28 (吹田キャンパス見学)**
(1) 工学研究科研究科長挨拶
(2) 吹田施設見学（工学研究科，核物理研究センター，レーザーエネルギー学研究センター）

**11/4**
(1) 原子核・素粒子の世界への旅立ち – ミクロな世界：不思議な原子核の話 – 小田原厚子（理）
(2) コーヒーブレイク：霧箱を作って放射線を見よう
　高久圭二 ( 核物理研究センター )，高橋成人 ( 京都府立医科大学 )
(3) 修了式