

かがく じっけん  
自然科学総合実験  
しぜん そうごう

テーマ：科学と文化 課題 9

このプレゼンテーションのファイルは  
以下の場所からダウンロード出来ます  
<http://lambda.phys.tohoku.ac.jp/~kaneta/>

弦げんの振しん動どう  
と音おん楽がく



2011年度 第2セメスター 木曜日

担当教員：金田雅司

高等教育開発推進センター／大学院理学研究科物理学専攻

# 自然科学総合実験

テーマ:科学と文化

## 課題 9 「弦の振動と音楽」

2011年度 第2セメスター 木曜日

担当教員：金田雅司

高等教育開発推進センター／大学院理学研究科物理学専攻

このプレゼンテーションのファイルは以下の場所からダウンロード出来ます  
<http://lambda.phys.tohoku.ac.jp/~kaneta/>

# この課題のテーマ

## 音楽に潜む

### 普遍性

世界中の音楽の殆どは五線譜に表現出来る

音階は飛び飛び

世界共通の法則が潜んでいる

→ 科学で説明できる

### 多様性

日本、アフリカ、ヨーロッパ等々  
国や地域によって伝統音楽は異なっている

楽器によって音色が異なる

好みの違い = 文化の違い



# 楽に潜る

## 普遍性

世界中の音楽の殆どは五線譜に表現出来る

音階は飛び飛び

世界共通の法則が潜んでいる

→ 科学で説明できる

## 多様性

# 多様性

日本、アフリカ、ヨーロッパ等々  
国や地域によって伝統音楽は異なっている

楽器によって音色が異なる

好みの違い = 文化の違い

# この課題のテーマ

## 音楽に潜む

### 普遍性

世界中の音楽の殆どは五線譜に表現出来る

音階は飛び飛び

世界共通の法則が潜んでいる

→ 科学で説明できる

### 多様性

日本、アフリカ、ヨーロッパ等々  
国や地域によって伝統音楽は異なっている

楽器によって音色が異なる

好みの違い = 文化の違い



# 科学に対する誤解

科学は 0, 1 で確実な答えが出せる

科学者はそう考えていない

「科学によって問うことができるが、  
科学で答えることができない問題」

Alvin M. Weinberg,  
"Science and Trans-Science,"  
Minerva10 (1972): 209-222

例えば

放射線量率や放射性物質が  
どの位のレベルであったら  
あなたは安心できますか？

答えを得るため証拠となる数値 科学で答えられる

- ・放射線量率は？
- ・土壌に含まれる放射性物質はどの位ある？

安心出来るかの基準 = 個々の価値判断

科学では答えがでない

- ・どんなに微量でも、あるのはいやだ
- ・世界平均と比べて少ないなら気にしない
- ・微量の放射線は体にいいのでおびたい

注：微量の放射線をおびると体によい（例えばラドン吸入の効果もこれに求める）は、科学的には証明されていない

「科学によって問うことができるが、  
科学で答えることができない問題」

Alvin M. Weinberg,  
"Science and Trans-Science,"  
Minerva10 (1972): 209-222



# 例えば

放射線量率や放射性物質が  
どの位のレベルであつたら  
あなたは安心できますか？

放射線量率や放射性物質が  
どの位のレベルであつたら  
あなたは安心できますか？

答えを得るため証拠となる数値 科学で答えられる

- 放射線量率は？
- 土壌中に含まれる放射性物質はどの位ある？

安心出来るかの基準 = 個々の価値判断 科学では答えがでない

- どんなに微量でも、あるのはいやだ
- 世界平均と比べて少ないなら気にしない
- 微量の放射線は体にいいのであびたい

注：微量の放射線をあびると体によい（例えばラドン温泉の効果をこれに求める）は、科学的には証明されていない

# 実験の流れ (時間は目安)

実験の説明：30分

実験 1 弦の振動：20～30分

実験 2 音楽と科学：70～80分

実験1が終われば2に進む  
授業時間を超えても終わるまで付き合います

5 コマ目に授業がある人、他の予定がある人

教員・TAに申し出て下さい  
時間内に終了するように手伝います

# 実験 1 「弦の振動」

弦について基礎となる自然法則を学ぶ

周波数（音の高さ）

モード = 定常波の振動の様子



n=1



n=2



n=3

モード n の定常波の周波数

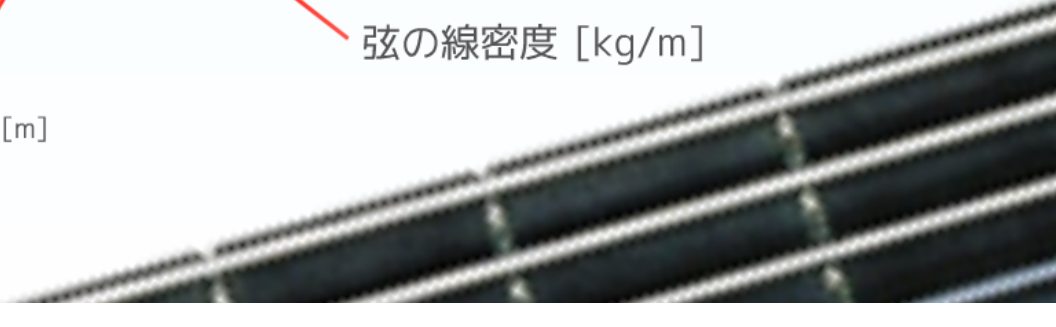
$$f_n = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{F}{\sigma}}$$

frequency  
周波数 [Hz]  
一秒間に波が何回繰り返すか

Length  
弦の長さ [m]

Force  
弦の張力 [N]  
読み「ニュートン」  
1 kg の質量を  
1 m/s<sup>2</sup> 加速させる力

弦の線密度 [kg/m]



モード  $n$  の定常波の周波数

$$f_n = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{F}{\sigma}}$$

モード = 定常波の振動の様子



モード  $n$  の定常波の周波数

$$f_n = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{F}{\sigma}}$$

frequency

周波数 [Hz]  
一秒間に波が何回  
繰り返すか

Length

弦の長さ [m]

Force

弦の張力 [N]

読み「ニュートン」

1 kg の質量を  
1 m/s<sup>2</sup> 加速させる力

弦の線密度 [kg/m]



# 張力 [N]

読み「ニュートン」

1 kg の質量を  
1 m/s<sup>2</sup> 加速させる力

モード = 定常波の振動の様子



モード  $n$  の定常波の周波数

$$f_n = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{F}{\sigma}}$$

frequency

周波数 [Hz]  
一秒間に波が何回  
繰り返すか

Length

弦の長さ [m]

Force

弦の張力 [N]

読み「ニュートン」

1 kg の質量を  
1 m/s<sup>2</sup> 加速させる力

弦の線密度 [kg/m]





# 自然法則を実験で確かめる

## 実験 1 「弦の振動」

弦について基礎となる自然法則を学ぶ  
周波数 (音の高さ)

モード = 定常波の振動の様子



$$f_n = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{F}{\sigma}}$$

frequency 周波数 [Hz] 一秒間に波が何回繰り返すか

Length 弦の長さ [m]

Force 弦の張力 [N]

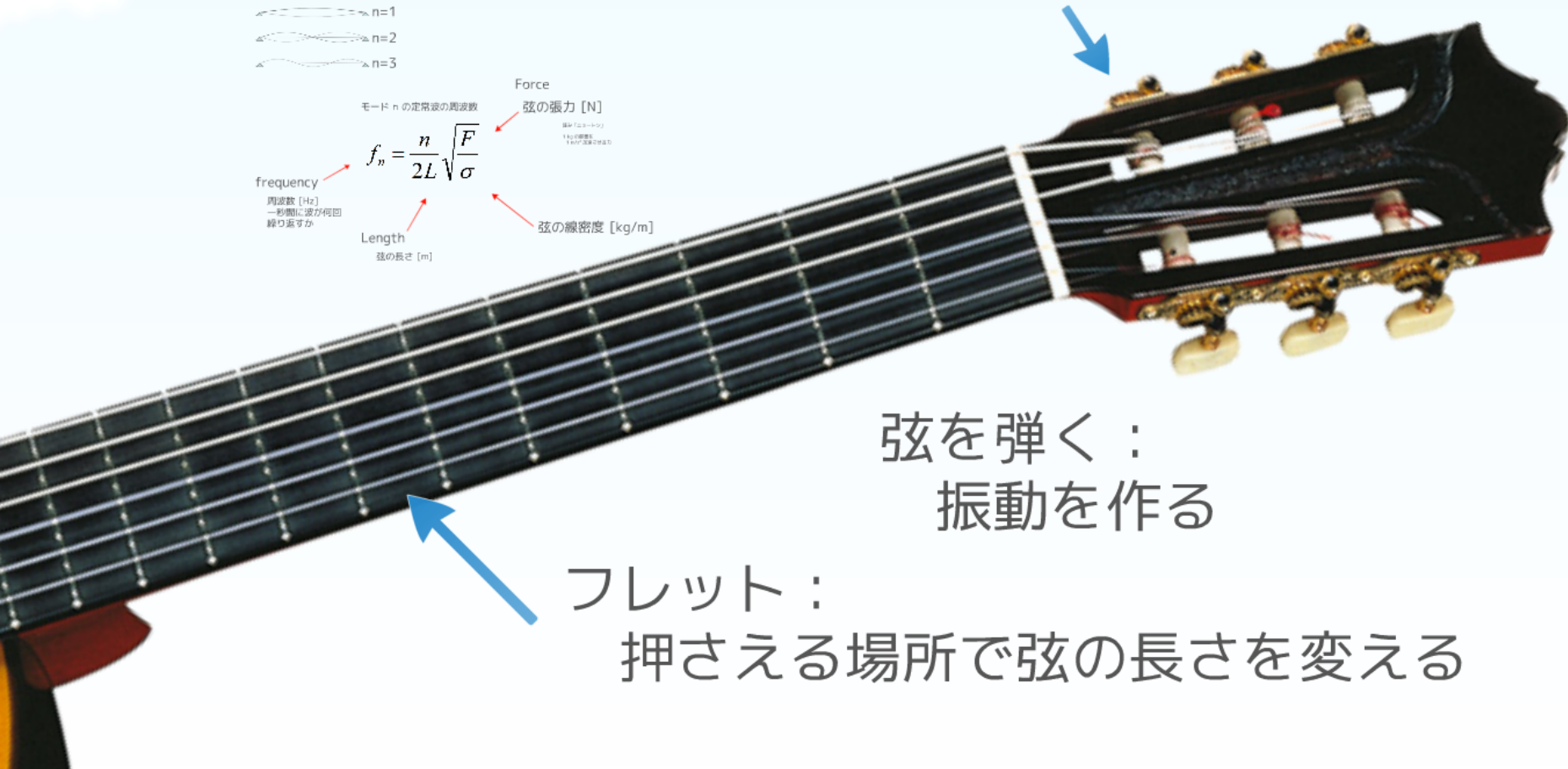
モード n の定常波の周波数

弦の線密度 [kg/m]

糸巻き：  
弦の張力を変える

弦を弾く：  
振動を作る

フレット：  
押さえる場所で弦の長さを変える



# 実験2 「音楽と科学」

- 楽器の音色
- 音階と信号モードの関係

ギターを使って調べる

# 音楽と科学

多様性

普遍性

# 普遍性

異なる文化でも  
同様に音階がある

自然法則の普遍性

# 多様性

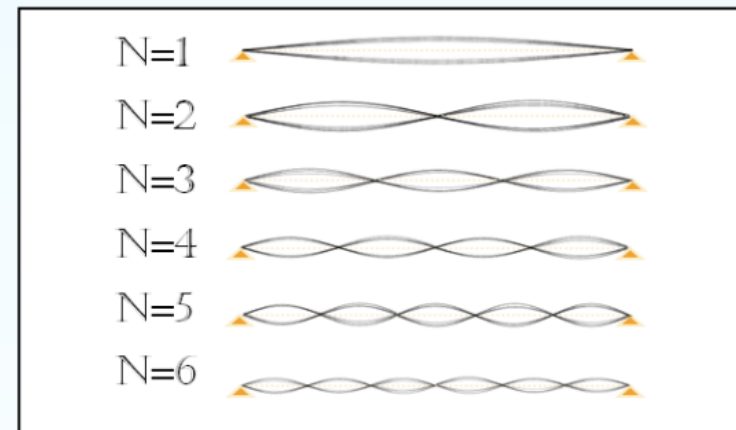
自然音階 と 人工音階 (平均律)

# 自然音階 と

弦の倍音から生まれる

基本振動のn倍の周波数

音の周波数比  
= 有理数



自然音階で作ると

ド レ ミ ファ ソ ラ シ ド

$\frac{9}{8}$   $\frac{10}{9}$   $\frac{16}{15}$   $\frac{9}{8}$   $\frac{10}{9}$   $\frac{9}{8}$   $\frac{16}{15}$

二つの音の周波数の比

と

# 人工音階 (平均律)

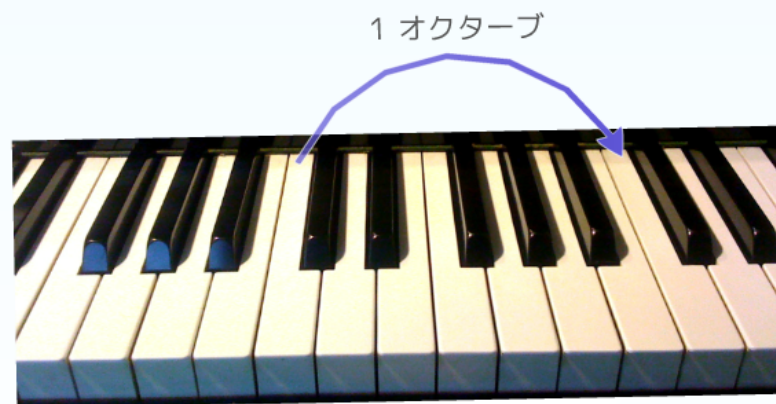
1オクターブを12等分したものが平均律

→ 周波数が倍になる音の高さ

隣り合う音 (半音) の  
周波数比

$$2^{\frac{1}{12}}$$

無理数



# 「音楽と科学」実験手順

二人一組で行う

- ギターのチューニング（調弦）  
弦の共鳴現象の確認、スケッチ

- ハーモニックス奏法の習得  
TAに教えてもらうこと

- 振動モード

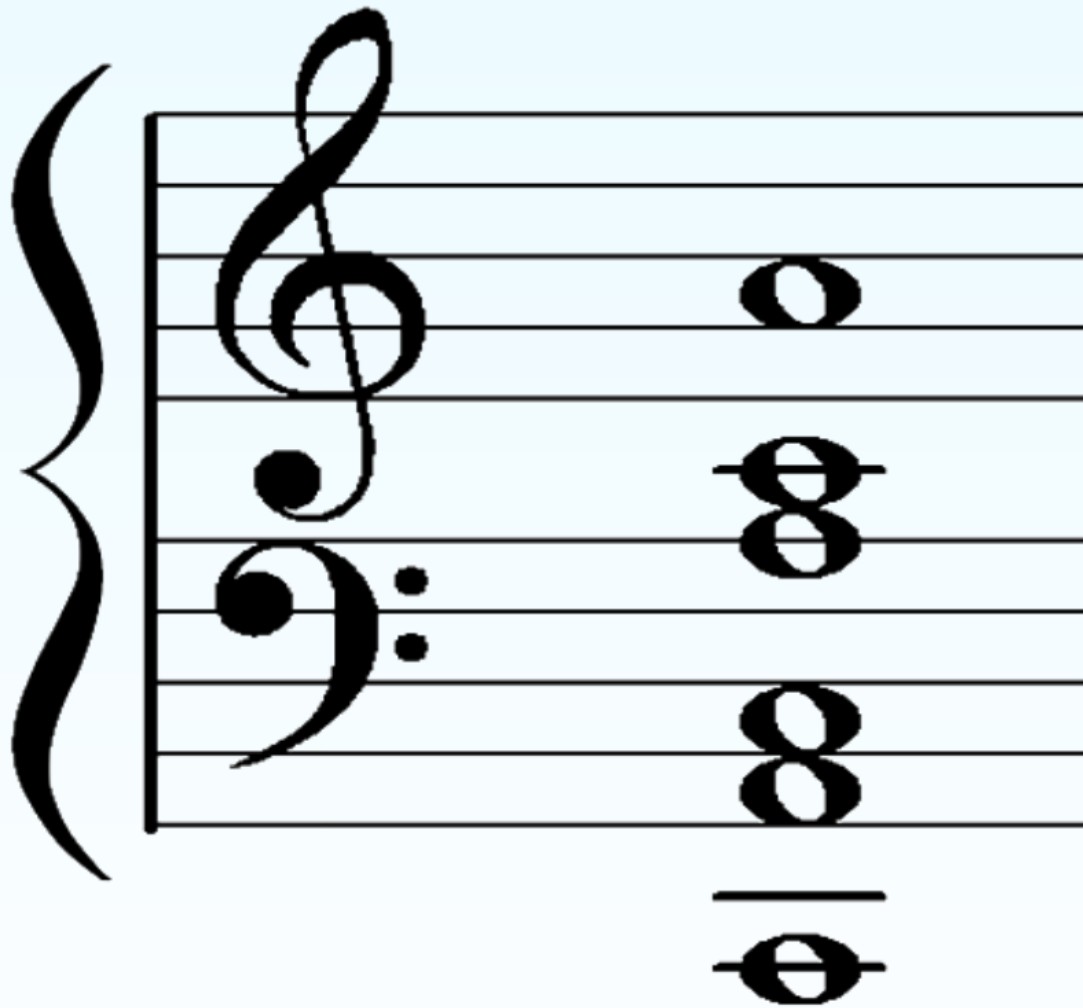
弦に触れる位置と振動モード  
弦の振動に含まれるモード  
弦を引く一と振動モード

- ハーモニックス奏法と音階

弦の振動の倍音(モード  $n=2,3,4,5,6$ )

音階 (ド,レ,ミ,ファ,ソ,ラ,シ,ド)

## チューナーの表示



ラ (4A) = 440 Hz

ド (4C)

ラ (3A) = 220 Hz

ド (3C)

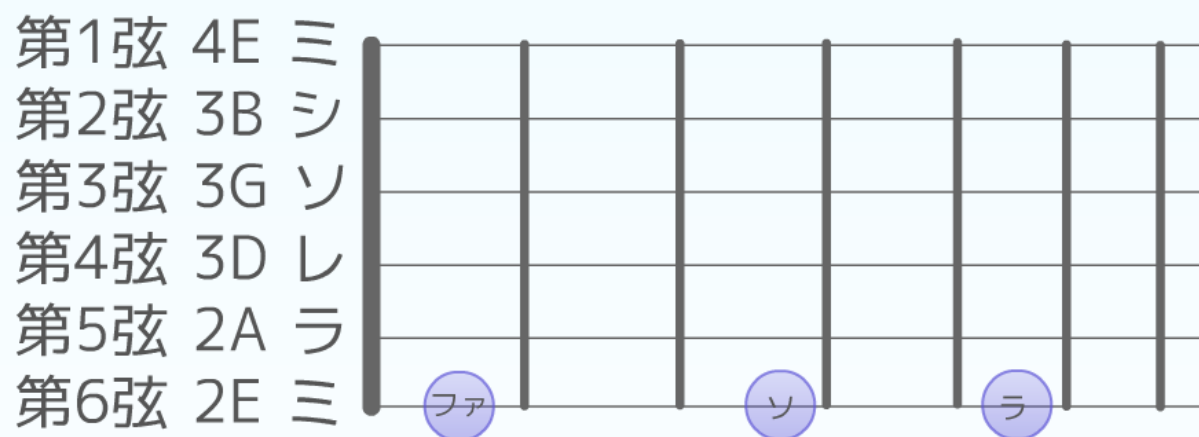
ラ (2A) = 110 Hz

ド (2C) = 65.4 Hz



# ギターの弦と音の高さ

## 開放弦の音



一番細い、ナイロン弦

一番太い、金属が巻いてある弦

フレットを押さえると  
一つの区切り毎に半音あがって行く

チューナーの表示

ラ (4A) = 440 Hz  
ト<sup>♯</sup> (4C) ラ (3A) = 220 Hz  
ト<sup>♯</sup> (3C) ラ (2A) = 110 Hz  
ト<sup>♯</sup> (2C) = 65.4 Hz

教科書 164ページ

教科書 164ページ

## ・ハーモニクス奏法と音階

弦の振動の倍音(モード  $n=2,3,4,5,6$ )

音階 (ド,レ,ミ,ファ,ソ,ラ,シ,ド)

# 二つの音階（自然音階と平均律）の比較

65.4Hzを「ド」にしたときの自然倍音( $n=6$ まで)と対応する平均律での周波数

モード $n$	音名	自然音階 (倍音) [Hz]	平均律での音名に 対応する周波数 [Hz]	周波数の比 (平均律/自然音階)
1	ド(2C)	65.4	65.4	1.00
2				
3				
4				
5				
6				

聞き取った音の名前

モード  $n$  に対して  
周波数はいくつになるか計算

音名に対して平均律で計算すると  
周波数はいくつになるか

数値だと  
どのくらい  
ずれているのか

# 最終実験

耳による  
自然音階と平均律の比較

# 実験終了後

## 教員・TAによるノートのチェック

レポートを書くために必要なことを  
記録しているかどうかを確認

## レポート表紙の確認サイン

サインが無いレポートは受け取ってもらえない

# ギターの取り扱い

## ギターは壊れやすい

- 表面板はすぐ傷が付く，割れる（優しく扱って！）
- 床に直接置かない（ギタースタンドを使用）
- 足台の使用を推奨
- 調律の際は，弦を巻きすぎて切らないように
- 実験終了後はクロス（布）で弦などの脂汚れを拭いてからケースに

# レポートについて

各実験毎に

目的、原理、方法、結果、考察  
の順番で書く

手書きで丁寧に

人に読んでもらうものだということを忘れずに  
ワープロは禁止

目的、原理、方法は教科書に載っている

丸写し（唯のコピー）は意味がない

ページ数が多ければ良い物でもない



高く評価しない

そういうレポートは  
時間と労力の無駄！！

レポートについて

# じゃあ、どうする？

- 教科書を参考にして、  
自分の言葉で簡潔に記述する  
図を使うと楽な場合もある
- 教科書の言葉が適切とは限らない  
より簡潔に書ける部分があるかも  
教科書に書いていなくとも書くべきことがあるかも



じゃあ、どうする？

- 教科書を参考にして、  
自分の言葉で簡潔に記述する  
図を使うと楽な場合もある
- 教科書の言葉が適切とは限らない  
より簡潔に書ける部分があるかも  
教科書に書いていなくとも書くべきことがあるかも



レポートには  
正解も模範解答もない

自分で考え  
自分の言葉で書く

もちろん、分からないことは教員・TAに聞く  
人に聞けるようになることは重要

レポートを書く場合何か参考にした場合  
文献名を挙げる

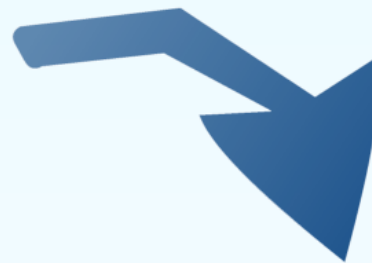
解も模範解答もた

もちろん、分からないことは教員・TAに聞く  
人に聞けるようになることは重要

場合何か参考にした

じゃあ、どうする？

- 教科書を参考にして、  
自分の言葉で簡潔に記述する  
図を使うと楽な場合もある
- 教科書の言葉が適切とは限らない  
より簡潔に書ける部分があるかも  
教科書に書いていなくとも書くべきことがあるかも



レポートには  
正解も模範解答もない

自分で考え  
自分の言葉で書く

もちろん、分からないことは教員・TAに聞く  
人に聞けるようになることは重要

レポートを書く場合何か参考にした場合  
文献名を挙げる

# 結果

教科書の ○○せよ、  
など命令形で書いてある指示



単に授業中に行うだけでなく  
ノートに記録し  
レポートに「結果」として書く

必要な箇所はスケッチも忘れずに

# 考察

- ・ 実験結果をどう考えるかは、千差万別十人十色
- ・ 人ごとに文章が異なって当然

正しい答えにたどりついたかではなく  
実験結果から

{ 理論（自然法則）  
いろいろな視点（考え方）

を適宜、参考・引用し論理的に考えている

かどうかを判断し評価します

正しい答えにたどりついたかではなく  
実験結果から

{ 理論（自然法則）  
いろいろな視点（考え方）

を適宜、参考・引用し論理的に考えている  
かどうかを判断し評価します

# なお

共同実験者と議論して  
同じレポート内容になる場合はその旨を明記

友達と議論することは大いに推奨

他の人のレポートを参考にしてもかまわない

# ただし

丸写し = カンニング  
とみなし

当該セメスターの全履修取り消し  
および  
無期停学  
の処分が待っている



当該セメスターの全履修取り消し  
および  
無期停学

の処分が待っている

それはさておき

楽器（ギター）を弾いて楽しみ

音楽と科学

多様性と普遍性

について考えを巡らそう

音楽と科学についてさらに理解を深める

# 音楽と科学についてさらに理解を深める



いろいろな楽器にふれてみる  
→ 自由実験

# 発展課題

考察を深めるための課題

この課題を行わなくても減点しない  
追加点がもらえる

かがく じっけん  
自然科学総合実験  
しぜん そうごう

テーマ：科学と文化 課題 9

このプレゼンテーションのファイルは  
以下の場所からダウンロード出来ます  
<http://lambda.phys.tohoku.ac.jp/~kaneta/>

弦げん

の振動しんどう

と音楽おんがく



2011年度 第2セメスター 木曜日

担当教員：金田雅司

高等教育開発推進センター／大学院理学研究科物理学専攻