

平成29年度  
高大連携物理・化学教育セミナー  
報告書

---

平成 30 年 3 月

# 新教育課程において 高校が大学に求めるもの

大阪府教育庁教育振興室  
高等学校課 重松 良之

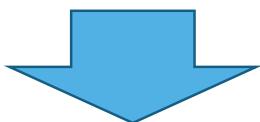
## 本日の発表の概要

0. 高大接続システム改革について
1. 学習指導要領改訂の背景および方向性(案)について
2. 新教育課程における数学・理科にわたる探究的科目の在り方について
3. 大阪府教育庁、府立高等学校等の取組について
4. 科学技術系人材の育成にあたって大学 等に求めるもの

# 0. 高大接続改革の推進について

グローバル化の進展や生産年齢人口の急減等  
社会の変化

※ 2045年 シンギュラリティ(技術的特異点)



## 新しい時代に必要となる資質・能力

新しい時代を乗り越え、  
新たな価値を創造していくためには、  
知識量だけでなく  
**「真の学ぶ力」が必要**

学力の三要素を多面的・総合的に  
評価する  
**大学入学者選抜**

## 高大接続改革

主体的・協働的な学びを通じて「真の学ぶ力」を  
育成する**高等学校教育**

高等学校までで培った力を更に向上させ、  
社会へ送り出す**大学教育**

# 0. 高大接続改革の推進について

## 高大接続改革

### 高等学校教育

- 教育課程の見直し 平成29年度に高等学校学習指導要領の改訂予定(H34～実施予定)
- 学習・指導方法の改善と教員の指導力の向上 生徒の資質・能力を育成する「主体的・対話的で深い学び」について学習指導要領と一緒に議論
- 多面的な評価の推進 (学習指導要領の改訂、「高校生のための学びの基礎診断」の実施方針の策定(H29.7)、「キャリア・パスポート(仮称)」の策定・活用方法等について今年度から調査研究事業を実施。)

## 大学入学者選抜

- 大学入学者選抜における「思考力等」や「主体性等」の評価の推進
- 大学入学者選抜改革を進める上での課題について調査・分析
- 「思考力等」や「主体性等」をより適切に評価する新たな評価手法の研究・開発  
Ex. 面接や書類審査等教科・科目によらない評価手法  
学力の三要素を多面的・総合的に評価する手法

### 大学教育

- ①卒業認定・学位授与、②教育課程の編成・実施、③入学者受入れ の「三つの方針」に基づく  
**大学教育の質的転換**

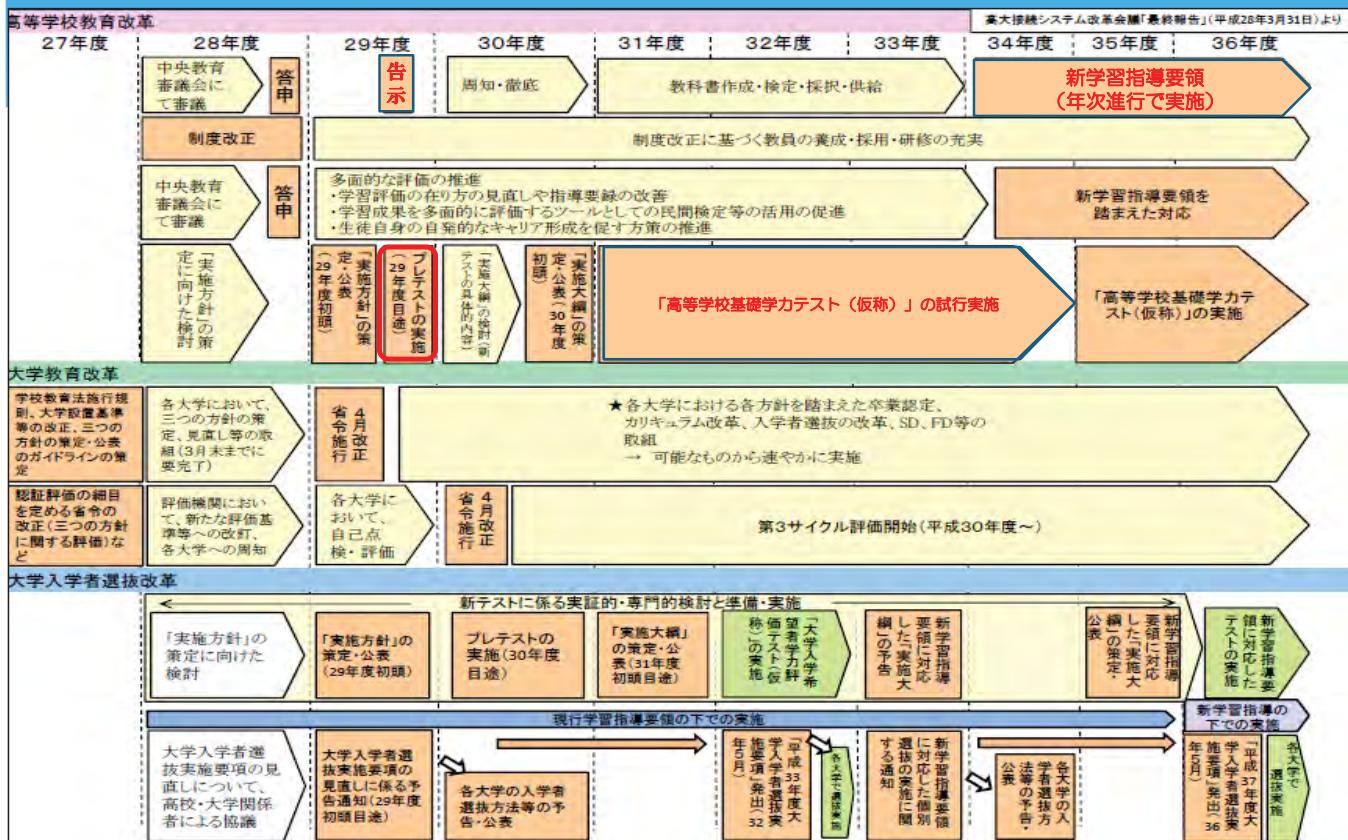
入口から出口までの質保障の伴った大学教育を実現。

(具体的には、) アクティブラーニング、学修成果の可視化、入試改革・高大接続、  
長期学外学修プログラム、卒業時における質保証の取組の強化を図る。

- ※ 大学等の運営に必要な知識・技能を身に付け、能力・資質を向上させるための研修(スタッフ・ディベロップメント「SD」)  
大学の教育の内容及び方法の改善を図るための教員の組織的な研修(カレッジ・ディベロップメント「FD」)等、可能なものから実施

# 0. 高大接続システム改革のスケジュール

(平成28年3月31日 高大接続システム改革会議「最終報告」より)



## Key Word 1 育成をめざす資質・能力

中教審答申 第1部第5章

この教科を学ぶことで身に付くものは何か。学年末や卒業時、子どもたちは何ができるようになっていればよいのか。学校教育目標の実現に向け、その「ねらい」と「願い」を明確にして子どもたちに「生きる力」を育みましょう。

次期学習指導要領では、「生きる力」の理念を「育成をめざす資質・能力」の三つの柱として示しました。

### 【育成をめざす資質・能力】の三つの柱

- ① 生きて働く知識・技能の習得
- ② 未知の状況にも対応できる思考力・判断力・表現力等の育成
- ③ 学びを人生や社会に生かそうとする学びに向かう力・人間性の涵養

【学習指導要領】  
生きる力

【学校教育法】  
学力の三要素

「学力の三要素」  
「資質・能力の三つの柱」  
「評価の三つの観点」  
が、つながるイメージですね。

【観点別学習状況】  
評価の三つの観点

- 知識及び技能
- 思考力・判断力・表現力等
- 主体的に学習に取り組む態度

### 各学校で考えてみましょう

- ▶ 学校教育目標（めざす子ども像）、各教科等を学ぶ意義や役割について、「育成をめざす資質・能力」の三つの柱をもとに問い合わせ直し、教職員全員で共有しましょう。

## 学習指導要領改訂の方向性（案）

平成28年7月7日  
教育課程部会  
総則評価特別部会  
資料1

### 新しい時代に必要となる資質・能力の育成と、学習評価の充実

学びを人生や社会に生かそうとする  
学びに向かう力・人間性の涵養

生きて働く知識・技能の習得

未知の状況にも対応できる  
思考力・判断力・表現力等の育成

### 何ができるようになるか

よりよい学校教育を通じてよりよい社会を創るという目標を共有し、  
社会と連携・協働しながら、未来の創り手となるために必要な資質・能力を育む

**「社会に開かれた教育課程」の実現**

各学校における**「カリキュラム・マネジメント」**の実現

### 何を学ぶか

**新しい時代に必要となる資質・能力を踏まえた  
教科・科目等の新設や目標・内容の見直し**

小学校の外国語教育の教科化、高校の新科目「公共（仮称）」の新設など

各教科等で育む資質・能力を明確化し、目標や内容を構造的に示す

**学習内容の削減は行わない**

### どのように学ぶか

**主体的・対話的で深い学び（「アクティブラーニング」）の視点からの学習過程の改善**

生きて働く知識・技能の習得など、新しい時代に求められる資質・能力を育成

知識の量を削減せず、質の高い理解を図るために学習過程の質的改善

深い学び  
対話的な学び  
主体的な学び



※高校教育については、些末な事実的知識の増配が大学入学選抜で問われる事が懸念になっており、  
そうした点を克服するため、選択用語の整理等を含めた高大接続改革等を進める。

1

## Key Word 2 カリキュラム・マネジメント

中教審答申 第1部第4章

「教育課程（カリキュラム）」とは、学校の教育計画であり、その編成主体は各学校です。  
「カリキュラム・マネジメント」とは、学校の教育目標の実現に向けた、一連の組織的な営みです。

**次期学習指導要領では、カリキュラム・マネジメントの三つの側面を示しました。**



#### 学校教育目標の具現化と実現

▶「めざす子ども像」「付けたい力」の明確化と共有

↓ 教育目標の反映

↑ 教育結果の検証

教育基本法、学校教育法等  
学習指導要領、評価規準の参考資料等  
学校・子ども・地域の実態把握、課題設定等

#### 教育目標を実現可能にする方策と検証法の確立

学校内

教育課程の実施  
～どのように学ぶか～

日々の授業  
指導計画・評価計画を  
踏まえた授業改善

C 結果  
D 授業  
A 改善  
P 計画

C 教育課程の評価  
～何が身に付いたか～

D PDCA  
サイクルの確立  
教育内容の質の向上

A 教育課程の改善  
～何が必要か～

P 教育課程の編成  
～何ができるようになればよいか～

校内研究等

共有・連携・協働・支援・評価

チーム学校

学校外

家庭

地元

社会

行政

資源活用

教育活動に  
外部資源を活用

情報発信等

「社会に開かれた教育課程」の実現



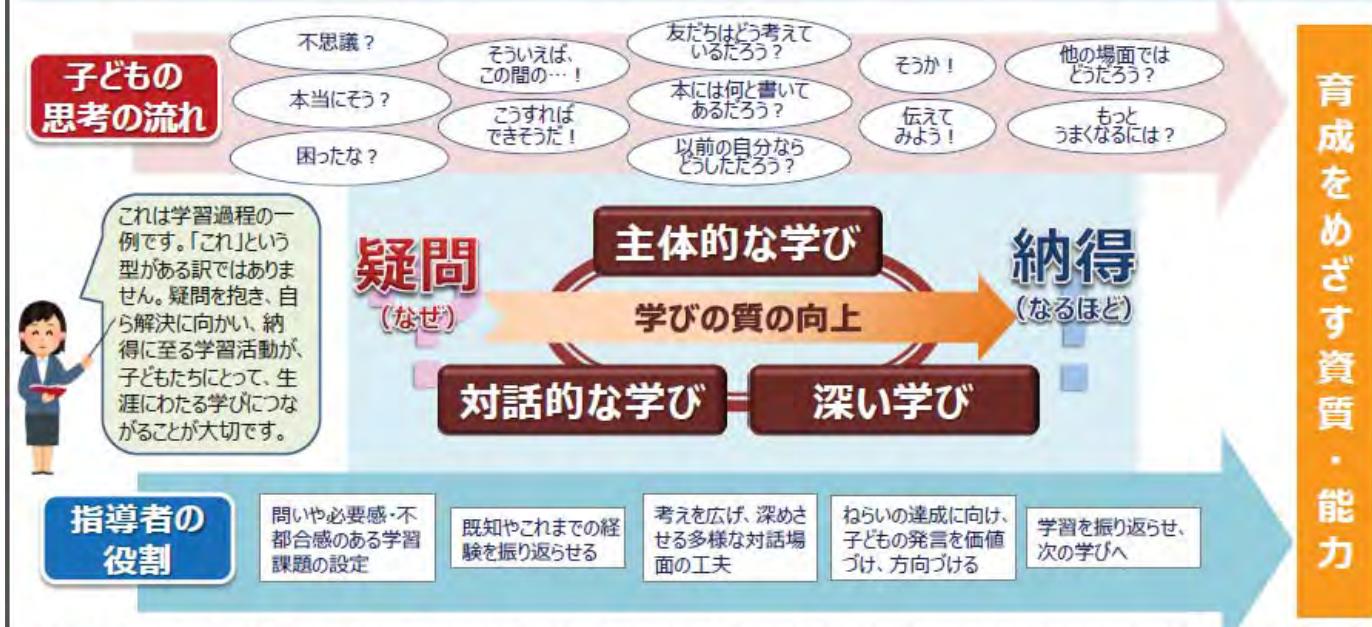
全ての教職員が、「カリキュラム・マネジメント」の必要性を理解し、日々の授業等に取り組むことが大切です。

### 各学校で考えてみましょう

▶「めざす子ども」の育成に向け、あらゆる教育資源を効果的・効率的に投入するための方略を考えましょう。例えば、各教科等の単元の指導計画・指導時期等を教科横断的な視点で見直すことから始めてみるのもよいでしょう。

これからの時代に必要な資質・能力を育むために、指導者の不断の授業改善への姿勢が求められています。子どもたちそれぞれの興味や関心を基に、一人一人の個性に応じた多様で質の高い学びを引き出すことが大切です。

次期学習指導要領では、資質・能力の育成に必要な授業改善の「三つの学びの視点」を示しました。

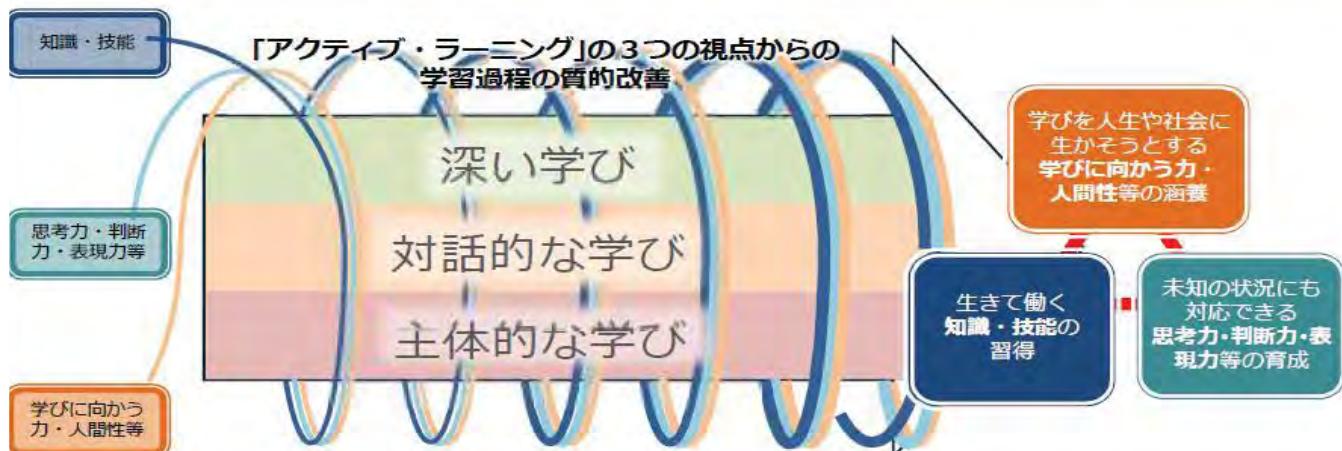


### 各学校で考えてみましょう

- 子どもが「知識と知識を意味あるものとして結び付け（知識の構造化）、その過程や結果を表現することができていたか」という視点で日々の授業を検証してみましょう。「何を教え」「何を考えさせるのか」という視点での単元構成も重要になります。

### 資質・能力の育成と 主体的・対話的で深い学び（「アクティブ・ラーニング」の視点）の関係（イメージ）（素）

- 「アクティブ・ラーニング」の3つの視点を明確化することで、授業や学習の改善に向けた取組を活性化することができる。これにより、知識・技能を生きて働くものとして習得することを含め、育成すべき資質・能力を身につけるために必要な学習過程の質的改善を実現する。
- 資質・能力は相互に関連しており、例えば、習得・活用・探究のプロセスにおいては、習得された知識・技能が思考・判断・表現において活用されるという一方通行の関係ではなく、思考・判断・表現を経て知識・技能が生きて働くものとして習得されたり、思考・判断・表現の中で知識・技能が更新されたりすることなども含む。



\* 基礎的・基本的な知識・技能の習得に課題が見られる場合においても、「深い学び」の視点から学習内容の深い理解や動機付けにつなげたり、「主体的な学び」の視点から学びへの興味や関心を引き出すことなどが重要である。

# 新教育課程における 数学・理科にわたる探究的科目の在り方について

## 学習指導要領改訂の方向性

[理 数] 教科の枠に捉われない**多角的、多面的な視点で事象を捉え、数学や理科における見方・考え方を活用しながら探究的な学習を行い、新たな価値の創造に向けて粘り強く挑戦する力の基礎を培う**科目の設定。

「理数探究基礎(仮称)」：探究の進め方に関する基礎を学ぶ

「理数探究(仮称)」：自ら課題を設定し探究する

[数 学] **数学の学びを社会生活で活用**する場面として、統計に関する学習を充実。理数探究(仮称)の新設も踏まえて、「数学活用」を発展的に廃止、「数学C(仮称)」を新設するなど科目構成の見直し。

[理 科] 理数探究(仮称)の新設も踏まえて、「理科課題研究」を発展的に廃止。

## 高等学校の数学・理科にわたる探究的科目の教育のイメージ

別添6-1

※以下の2科目で構成

### 実施段階 「理数探究」

#### 探究を深める段階

- 基礎で身に付けた資質・能力を活用して自ら課題を設定し、探究の過程全体を行う。
- それぞれの課題に応じた探究を行うために必要な個別の知識や技能を主体的に身に付けさせ、より深い探究を志向させる。
- 探究に当たっては、質を高めるため大学・企業等の外部機関を積極的に活用する。
- 実験や分析自体の成否より、試行錯誤し、失敗のリスクも引き受けながら主体的にやり遂げる過程を重視する。

大学・企業等  
からの支援

基礎で学んだことを用いて、  
自ら課題を設定し、探究の過程全体を実施する。

校内・校外において探究の成果を発表する。

#### 学習過程の例

### 基礎段階 「理数探究基礎」

#### 基礎の習得段階

- 探究の過程全体を自ら遂行するために基礎となる資質・能力をあらかじめ身に付けておくことが必要。
- 新たな価値の創造に向けて挑戦することの意義等について理解を深めさせることで、主体的に探究に取り組む態度を身に付けさせることが必要。
- 研究倫理等についての基本的な理解を身に付けさせることが必要。

探究の手法について学ぶ

教員の指導のもと、実験・観察の進め方や分析の手法を考え、選択した課題等の探究を実施する

校内等で成果を発表する

## 算数・数学の学習過程のイメージ

### 算数・数学における問題発見・解決の過程と育成を目指す資質・能力

事象を数理的に捉え、数学の問題を見いだし、問題を自立的、協働的に解決することができる。

日常生活や社会の事象を数理的に捉え、  
数学的に処理し、問題を解決することができる。

数学の事象について統合的・発展的に考え、  
問題を解決することができる。

- A1 日常生活や社会の問題を数理的に捉えることについて  
 ○事象の数量等に着目して数学的な問題を見いだす力  
 ○事象の特徴を捉えて数学的な表現を用いて表現する力(事象を数学化する力)



- D1 解決過程を振り返り、得られた結果を意味づけたり、活用したりすることについて  
 ○得られた結果を元の事象に戻してその意味を考える力  
 ○様々な事象に活用する力

思考・判断

#### 数学的に表現した問題

- B 数学を活用した問題解決に向けて、構想・見通しを立てることについて  
 ○数学的な問題の本質を見いだす力(洞察力)  
 ○数学的な問題を解決するための見通しを立てた力(構想力)

#### 焦点化した問題

- C 焦点化した問題を解決することについて  
 ○目的に応じて数・式、図、表、グラフなどを活用し、一定の手順にしたがって数学的に処理する力  
 ○数学的な見方・考え方を基に、的確かつ能率的に処理する力  
 ○論理的に推論する力(帰納、類推、演繹)

- A2 数学の事象における問題を数学的に捉えることについて  
 ○数学の事象から問題を見いだす力  
 ○事象の特徴を捉え、数学化する力  
 ○得られた結果を基に拡張・一般化する力

#### 数学の事象

- D2 解決過程を振り返るなどして概念を形成したり、体系化したりすることについて  
 ○数学的な見方・考え方のよさを見いだす力  
 ○得られた結果を基に批判的に検討し、体系的に組み立てていく力  
 ○見いだした事柄を既習の知識と結びつけ、概念を広げたり深めたりする力  
 ○統合的・発展的に考える力

#### 結果

- E 数学的な表現を用いて、人々と交流し合うことについて  
 ○数学的な表現を用いた説明を理解したり評価したりする力  
 ○目的に応じて、自分の考えなどを数学的な表現を用いて説明する力

表現

- F 学習に向かう力、態度について  
 ○過程や結果を吟味し、評価・改善する態度  
 ○多面的に考え、粘り強く問題の発見や解決に取り組む態度

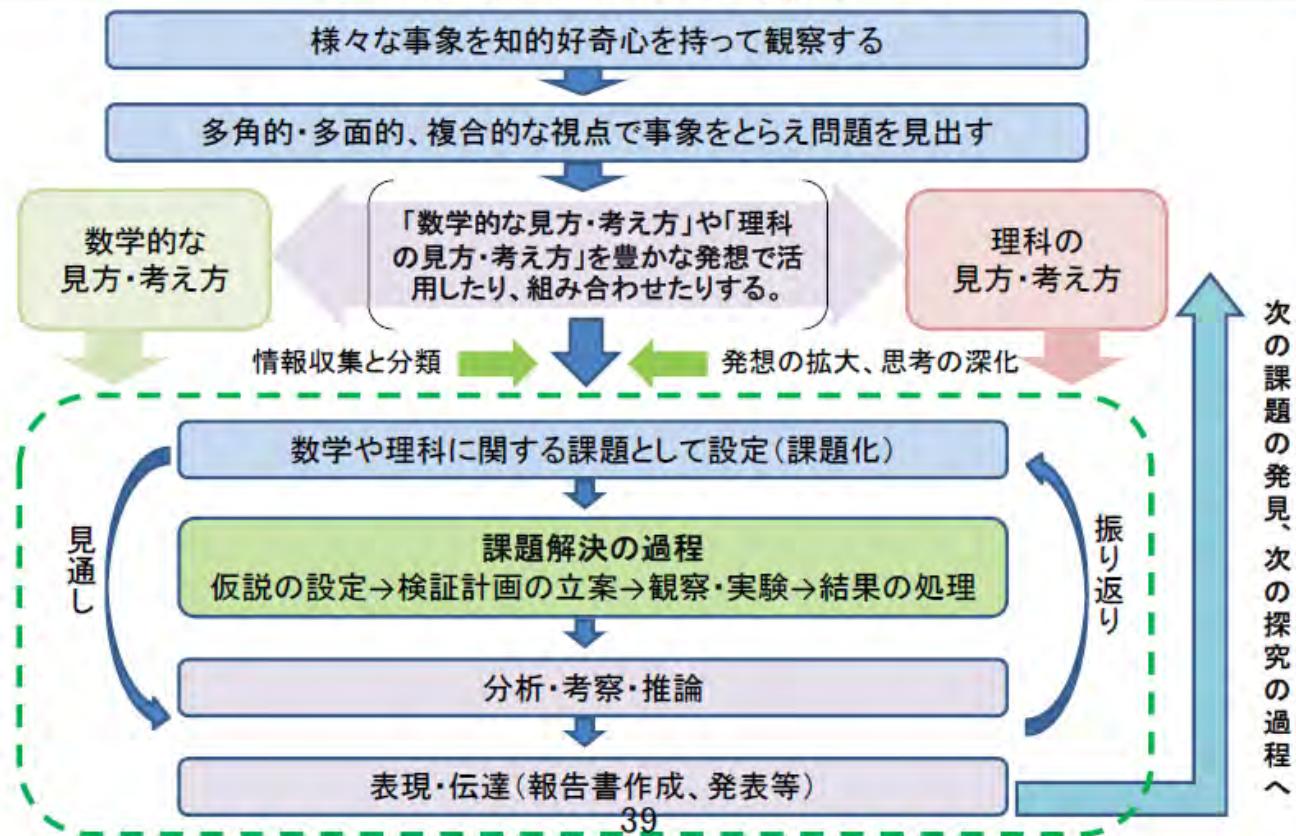
人間性

### 理科において育成を目指す資質・能力の整理

理科	知識・技能	思考力・判断力・表現力等	学びに向かう力・人間性等	資質・能力の育成のために重視すべき学習過程等の例
高等学校	<選択科目> ●知識・技能の深化 ●自然事象に対する概念や原理・法則の体系的な理解	●科学的な探究能力(論理的・分析的・統合的に考察する力) ●新たなものを創造しようとする力	●果敢に挑戦する態度 ●科学的に探究する態度 ●科学に対する倫理的な態度	自然事象に対する 見通し 振り返り 気付き 課題の設定 仮説の設定 検証計画の立案 観察・実験の実施 結果の処理 考察・推論 表現・伝達
	<必履修科目> ●自然事象に対する概念や原理・法則の理解 ●科学的探究についての理解 ●探究のために必要な観察・実験等の技能	●自然事象の中から見通しをもって課題や仮説を設定する力 ●観察・実験し、得られた結果を分析して解釈するなど科学的に探究する力と科学的な根拠に基づいて考察を表現する力 ●仮説の妥当性や改善策を検討する力	●自然事象に対する畏敬の念 ●躊躇なく挑戦する態度 ●日常生活との関連、科学の必要性や有用性の認識 ●科学的根拠に基づき、多面的、総合的に判断する態度 ●中学校で身に付けた探究する能力などを活用しようとする態度	自然事象に対する 見通し 振り返り 気付き 課題の設定 仮説の設定 検証計画の立案 観察・実験の実施 結果の処理 考察・推論 表現
中学校	○自然事象に対する概念や原理・法則の基本的な理解 ○科学的探究についての基本的な理解 ○探究のために必要な観察・実験等の基本的な技能(安全への配慮、器具などの操作、測定の方法、データの記録・処理等)	○自然事象の中に問題を見いだし、見通しをもって課題や仮説を設定する力 ○計画を立て、観察・実験する力 ○得られた結果を分析して解釈する力(科学的に探究する力と科学的な根拠に基づいて表現する力) ○探究の過程における妥当性を検討するなど総合的に振り返る力	○自然を敬い、自然事象に進んでかかわる態度 ○粘り強く挑戦する態度 ○日常生活との関連、科学するこの面白さや有用性の気付き ○科学的根拠に基づき判断する態度 ○小学校で身に付けた問題解決の力などを活用しようとする態度	自然事象に対する 見通し 振り返り 気付き 課題の設定 仮説の設定 検証計画の立案 観察・実験の実施 結果の処理 考察・推論 表現
小学校	■自然事象に対する基本的な概念や性質、規則性の理解 ■理科を学ぶ意義の理解 ■科学的に問題解決を行うために必要な観察・実験等の基本的な技能(安全への配慮、器具などの操作、測定の方法、データの記録等)	(各学年で主に育てたい力) 6年: 自然事象の変化や働きについてその要因や規則性・関係を多面的に分析し考察して、より妥当な答えをつくりだす力 5年: 予想や仮説などをもとに質的变化や量的变化、時間的変化に着目して解決の方法を発想する力 4年: 見いだした問題について既習事項や生活経験をもとに根拠のある予想や仮説を発想する力 3年: 自然事象の差異点や共通点に気付く問題を見いだす力	■自然に親しみ、生命を尊重する態度 ■失敗してもくじけずに挑戦する態度 ■科学することの面白さ ■根拠に基づき判断する態度 ■問題解決の過程に関してその妥当性を検討する態度 ■知識・技能を実際の自然事象や日常生活などに適用する態度 ■多面的、総合的な視点から自分の考えを改善する態度	自然事象に対する 見通し 振り返り 気付き 問題の見いだし 予想・仮説の設定 検証計画の立案 観察・実験の実施 結果の整理 考察や結論の導出

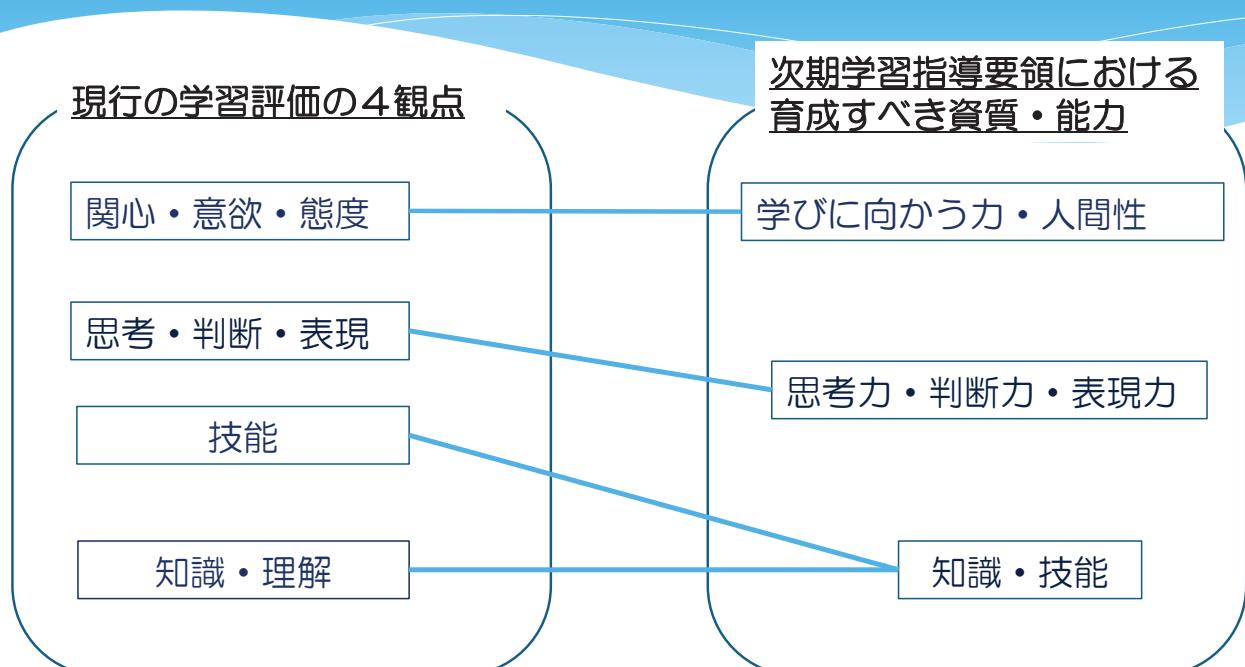
# 高等学校の数学・理科にわたる探究的科目 の学習過程(探究の過程)のイメージ

別添6-2



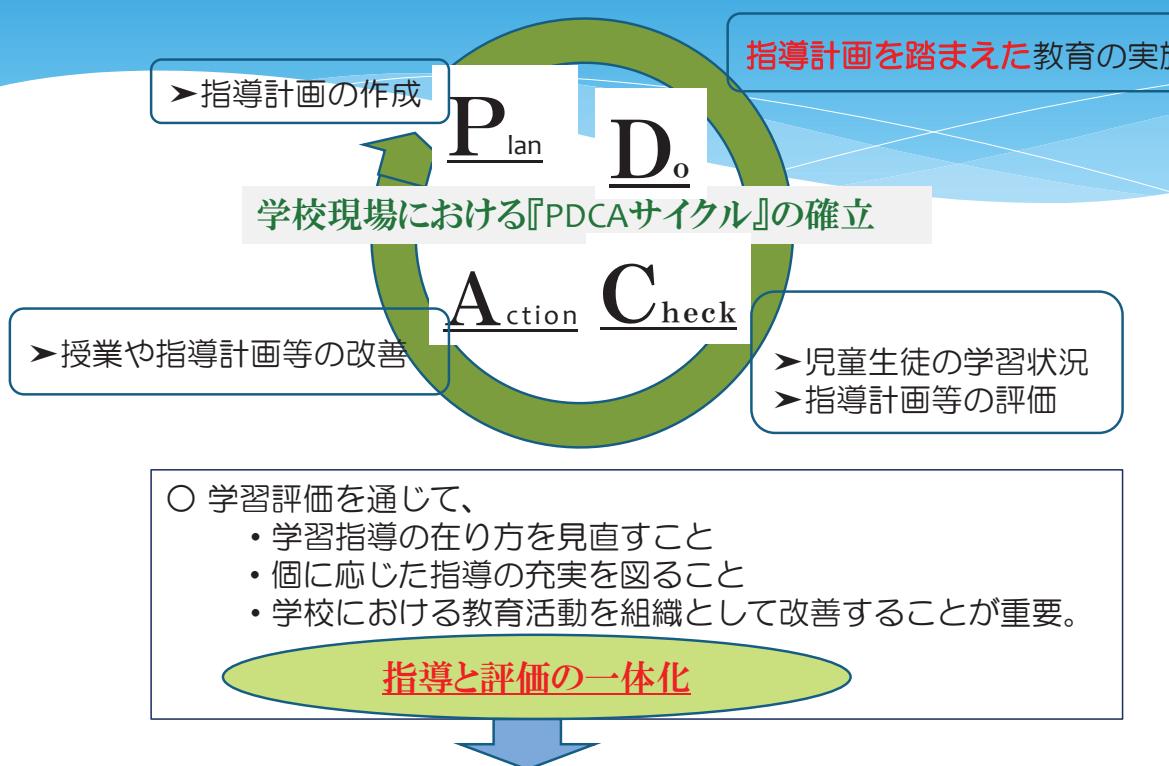
## 大阪府教育庁・府立高等学校の取組

### ◎ 観点別学習状況の評価（観点別評価）



# 大阪府教育庁・府立高等学校の取組

## 学習指導と学習評価のPDCAサイクル



## 大阪府教育庁・府立学校の取組

だからこそ、観点別評価が必要

平成28年度  
「観点別学習状況の評価」実施の手引き 作成

大阪府教育委員会HP

[http://www.pref.osaka.lg.jp/kotogakko/guidance\\_kantenbetu/index.html](http://www.pref.osaka.lg.jp/kotogakko/guidance_kantenbetu/index.html)

平成29年度  
観点別評価を踏まえたシラバスの作成（府立高等学校）  
※ 公開予定

# 国・公・私立高校の切磋琢磨による 大阪府の理数教育の充実



コンセプト

「国際社会で活躍できる科学者・技術者の基礎力の育成」  
「大阪府の理数教育の一層の活性化」

サイエンス・スクールネットワークを  
活用した卓越性と公平性の追求

全国指定校 203校のうち  
大阪府は 16校で全国最多

【背景】

《H29年度 SSH 指定校》

岸和田・泉北・天王寺・三国丘  
千里・富田林・住吉・四條畷・園芸  
生野・豊中  
大手前・高津 (府立 13校)  
《H29年度 SSH 科学技術人材育成重点枠指定校》  
大手前・高津(H28~29の2年間)  
天王寺(H29~31の3年間)

《理数系の専門学科をもつ学校》

グローバルゲーツハイスクール (文理学科 10校)  
国際・科学高校 (千里・住吉・泉北)  
農業高校 (園芸・農芸)  
進学系・専科をもつ工科高校 (3校、H26~)

【H28年度の主な実績】

★国際科学コンテスト  
561名 (13校のべ数) 参加 35名 入賞  
・第10回国際地学オリンピック 銀メダル(北野)  
・化学グランプリ 銀賞(北野)  
・日本数学オリンピック予選合格  
(北野・大手前・天王寺・岸和田)  
・物理チャレンジ 銀賞(北野)  
・高校生物科学技術チャレンジ(JSECI) 優秀賞(園芸)

## サイエンス・スクール・ネットワークを活用した 大阪府教育委員会の取組

- ◆ 京都・大阪数学コンテストの実施
- ◆ 科学の甲子園大阪府大会
  - ・実技競技対策基礎実験講座
  - ・『課題研究』指導力向上講座 (教員対象実験研修)
- ◆ 生徒研究発表会 (大阪サイエンスティ) の開催
- ◆ 大阪府学生科学賞
- ◆ 教員研修の実施
- ◆ 地域連携・高大連携 (小・中・高校・大学との連携、企業・研究施設との連携)
- ◆ 連絡協議会の設置による情報交換、指導助言 など

## サイエンス・スクール・ネットワーク (SSN)

《H29年度参加校 (18校)》

北野・天王寺・泉北・住吉・大手前・高津  
三国丘・生野・千里・豊中・岸和田・園芸  
四條畷・富田林・附属天王寺・市立東  
都島工業・高槻

【目標】

- ▶ 国際科学オリンピック世界大会への出場
- ▶ SSN 参加校(国公私合わせて)30校に拡大など

これまでの取組のさらなる充実を図り、  
府内高校から  
福井 謙一氏 (府立今宮)、  
下村 悅 氏 (府立住吉)、  
山中 伸弥氏 (附属天王寺) に続く、  
ノーベル賞受賞者の輩出をめざす!!

はばたけ世界へ!

## 大阪府教育庁・府立学校の取組

思考力・判断力・表現力、学びに向かう力・人間性 等の育成

### 京都・大阪数学コンテスト(7月)

大阪府教育委員会・京都府教育委員会 主催  
京都大学大学院理学研究科数学・数理解析専攻 共催

### 大阪府学生科学賞(10月)

大阪府教育委員会、大阪市教育委員会、堺市教育委員会  
大阪府科学教育振興会、読売新聞社 主催

### 科学の甲子園 大阪府大会(10月)

大阪府教育委員会・大阪工業大学 主催  
※ 実技競技対策基礎実験講座(9月)

大阪サイエンスティ  
~若き科学者たちの挑戦~

### 大阪府生徒研究発表会(10月)

大阪府教育委員会・大阪府立天王寺高等学校  
大阪工業大学 主催

# 大阪府教育庁・府立学校の取組

## 課題研究・探究活動の状況について

### (1) 府立高校の活動状況

#### 専門学科の設立

- グローバル・リーダーズ・ハイスクール
- 農業系高校
- 工科系高校
- 国際・科学高校
- 総合学科高校

#### 普通科高校における探究活動

➡ 国のSSH事業、SGH事業、中高生の科学研究実践活動推進プログラム 等

# 大阪府教育庁・府立学校の取組

## 課題研究・探究活動の状況について

### (2) 活動を進める上での課題

- 課題研究の質の向上
- 学校全体での指導体制の確立（指導する教員の育成）
- 各校の成果の発信

# 科学技術系人材の育成にあたって大学等に求めるもの

## (1) 高校生の興味・関心を擗るプログラム

### → グローバル・サイエンス・キャンパスの開催

#### ・大阪大学SEEDSプログラム

世界最先端の科学技術にいち早く触れてみたいという意欲的な高校生に対して、大学での多岐にわたる研究に触れてもらうことで科学に対する小さな好奇心の芽を大きく伸ばしてもらう。

#### ・京都大学ELCAS

「対話を根幹とした自学自習」に基づき、優れた教育研究資源を積極的に活用した研鑽を通じて、主体的に科学を究めようとする高校生の育成を図る。

## (2) 課題研究の質の向上にむけた支援

#### ・課題研究の発表機会

#### ・教員の指導力向上

# 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）**

→ 热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**

→ 热力学の講義 (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 —最先端の物理を高校生に—**

**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こ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)）。

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、以下の近似式が成立つ。

$$m(v(t + \Delta t) - v(t)) \approx F(t)\Delta t \quad (6.4)$$

$\Delta t$  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  $M_{\text{月}}$ 、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。

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

が成立立つ。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に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

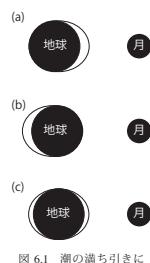


図 6.1 潮の満ち引きに対する考え方。

## 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。炊飯をしているのだが、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、コーティング材が飛げてすぐに駄目になると、体に害がないのとしても、心理的に飛げたコーティング材を食べるのには気が悪い。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らぬからでも再生てきて、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、本當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なるので、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（コーナンで貰える）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ビカビカに仕上げ、水で綺麗に洗う。



図 9.1 青いフライパン

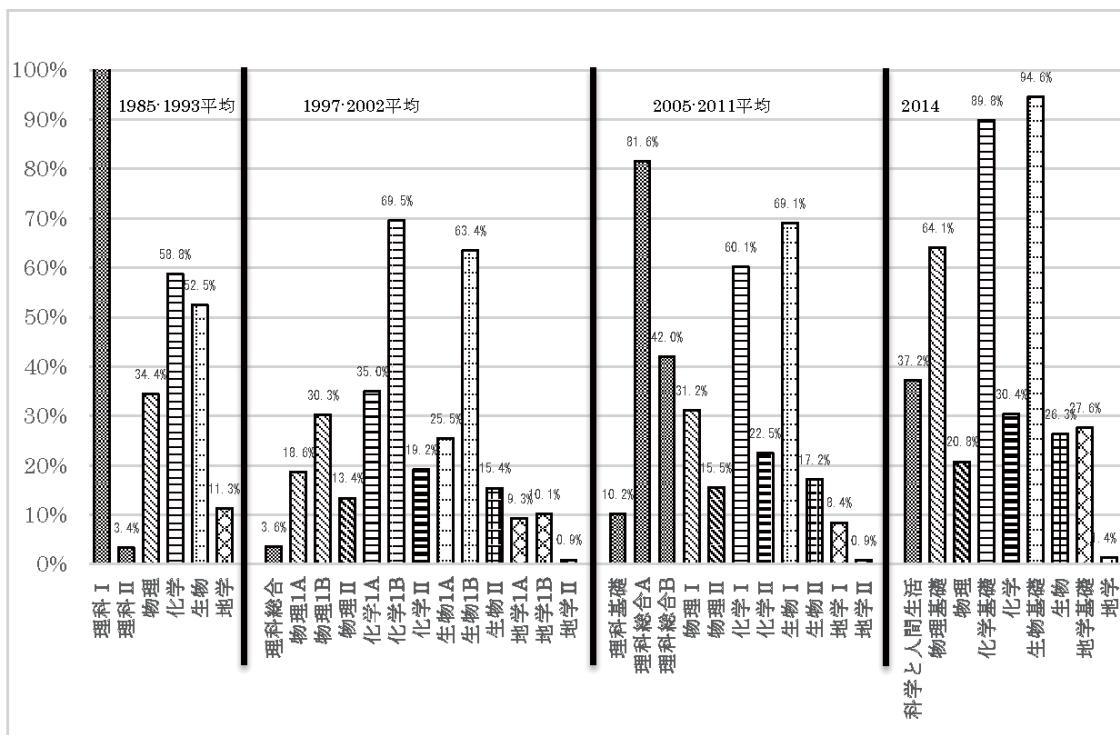
ここから第二段階。慣れたフライパンを強火で空焚きする。そうすると不思議なことに、銀色だったフライパンの表面が黄色がかかった茶色になり、そこから徐々に青色に変化する（図 9.1）<sup>4)</sup>。最終的にはフライパン表面全体が美しく青光りした状態になる。この状態になったら、一旦冷ました後で、油をたっぷり引いて野菜を炒めて、油慣らしをする。こうして仕上げたフライパンは少々のことでは銷びない。以下では、フライパンを空焚きしてできた青色の起源について考えたい。

<sup>4)</sup> 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

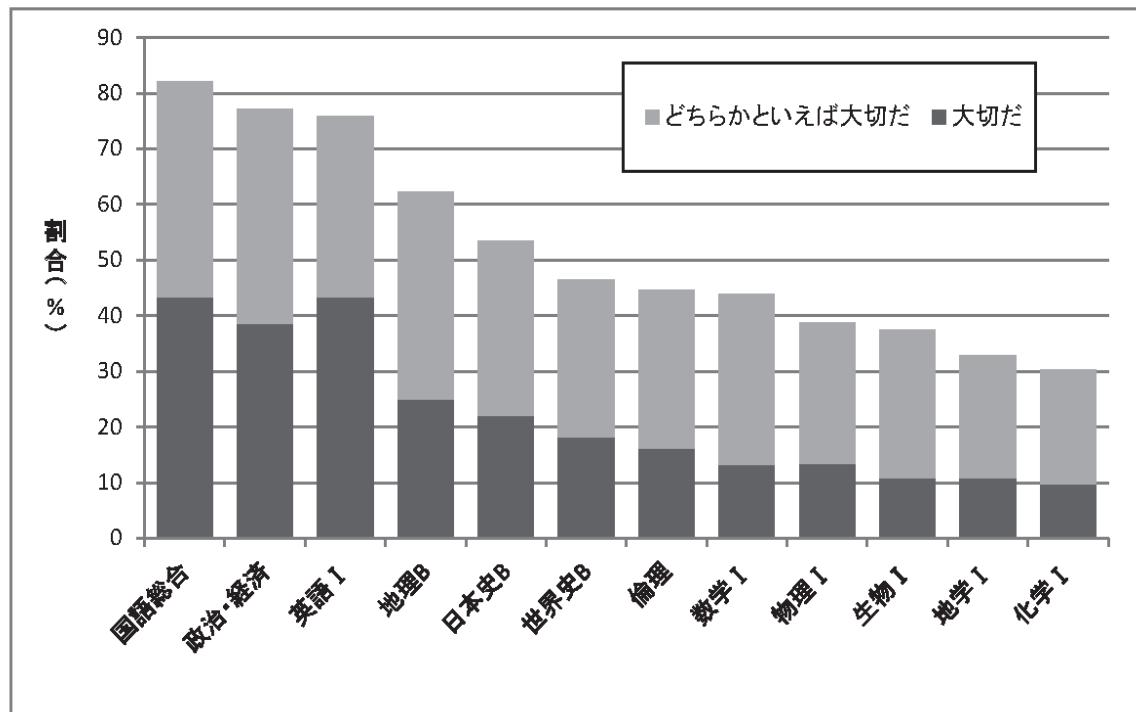


物理は今も昔も低いまま

# 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 자체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。

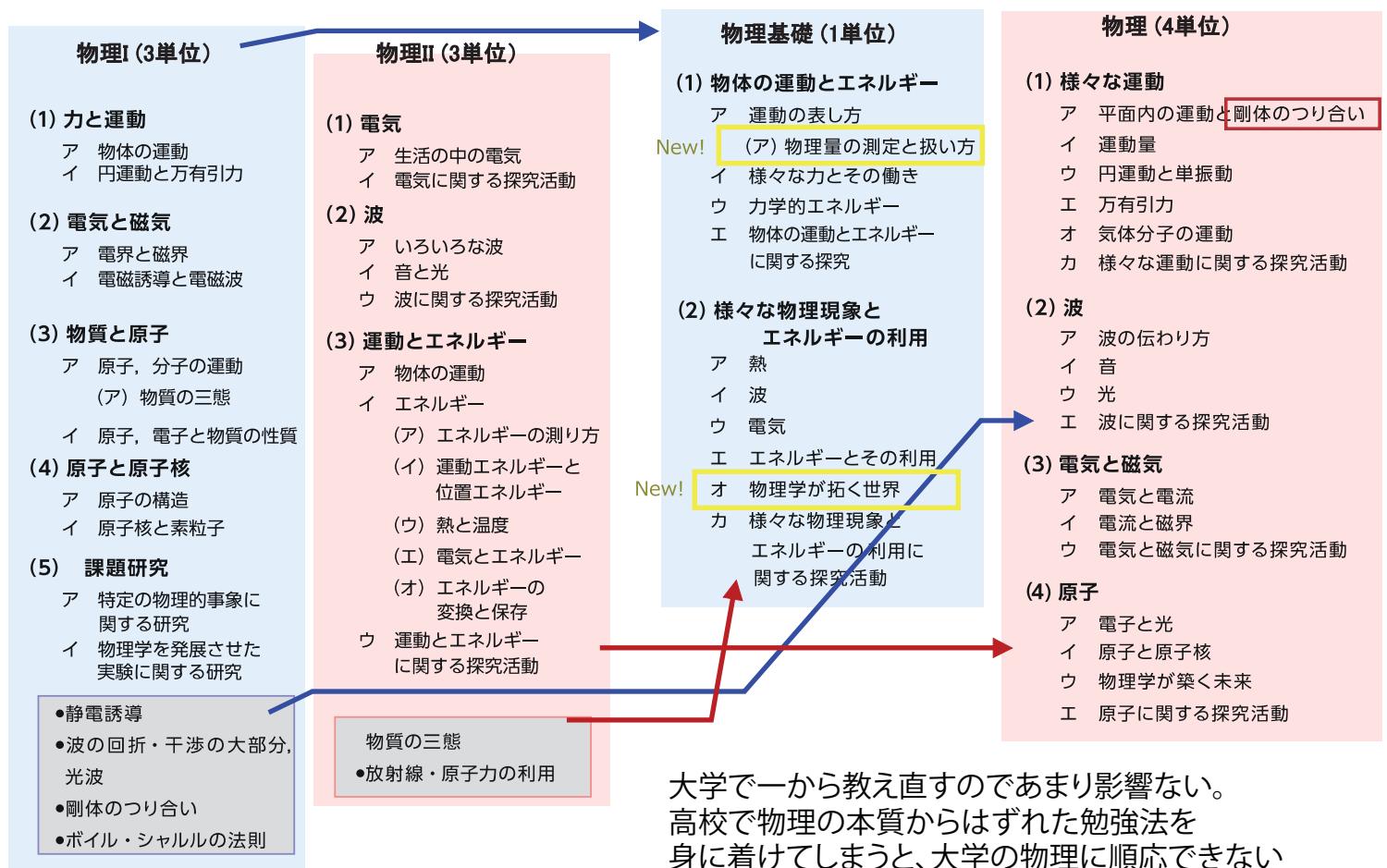
## ② 最後までやり切る力の育成

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對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



# 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 を少しでも改善したい
- (2) 体験学習の不足

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  
より進んだ知識を渴望している

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：霧箱を作つて放射線を見よう  
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

# Saturday Afternoon Physics 2017

最先端の物理を高校生に

大阪大学  
夏中キャンパス

会場  
大阪大学  
夏中キャンパス  
10/14(土)  
11/4(土)  
毎週土曜日  
15:00~18:00

## ■プログラム(予定) —宇宙から極微の世界まで—

10/14(土)  
講義  
自然界をめぐる旅へのいざない  
ヨーロッパ  
身の回りの物理を体験しよう  
講義  
宇宙への旅立ち

10/21(土)  
講義  
量子の世界への旅立ち  
ヨーロッパ  
分光計で見る量子の世界  
講義  
物質の世界への旅立ち

10/28(土)  
施設利用  
実工研研究室、核物理研究センター、  
レーザー科学研究所

11/4(土)  
講義  
原子核・素粒子の世界への旅立ち  
ヨーロッパ  
霧箱を作って放射線を見よう  
修了式 (修了認定者は修了証書を授与します。)

## 参加者の声 STUDENTS' VOICE

くらしの中にも  
物理が!

最初は、大学の講義ということもで、難しく、理解できないかしらしないと思っていていたのですが、受けたみどりとともに興味をひかれる容でした。実験を通して、なぜこうなるのかを考えることが出来て、とても楽ししかったです。

分光器をつけて  
スペクトルを観察!

</div

# 大学が高校に求めるもの(化学)

大阪大学理学研究科 化学専攻 中澤 康浩

1. 大学、研究科のアドミッションポリシーと  
教育実現のための取り組み
2. 化学科のカリキュラム
3. 化学科の現状  
教育、学生の学習で生じている問題、その対策
4. 探求型、能動性の高い学生をとるための入試  
(過去の研究奨励AO入試、挑戦枠入試、  
今後の適塾入試)

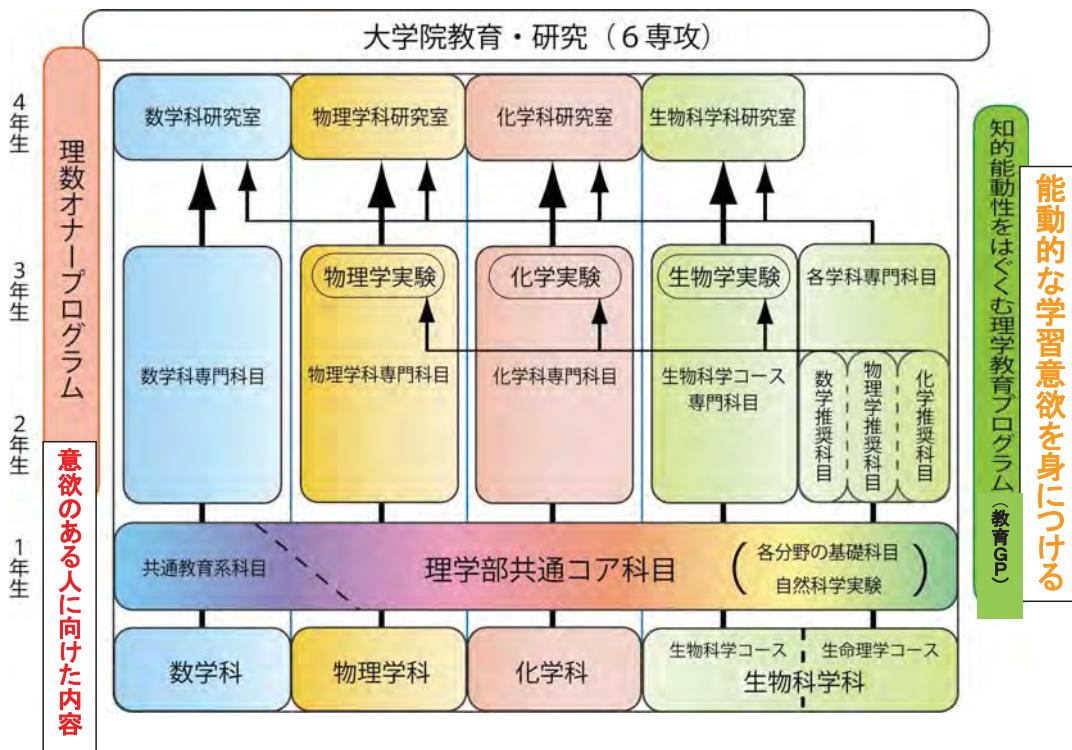
# 大阪大学の教育理念



## 理学部の教育理念



# 理学部の教育課程



## 理数オナープログラム

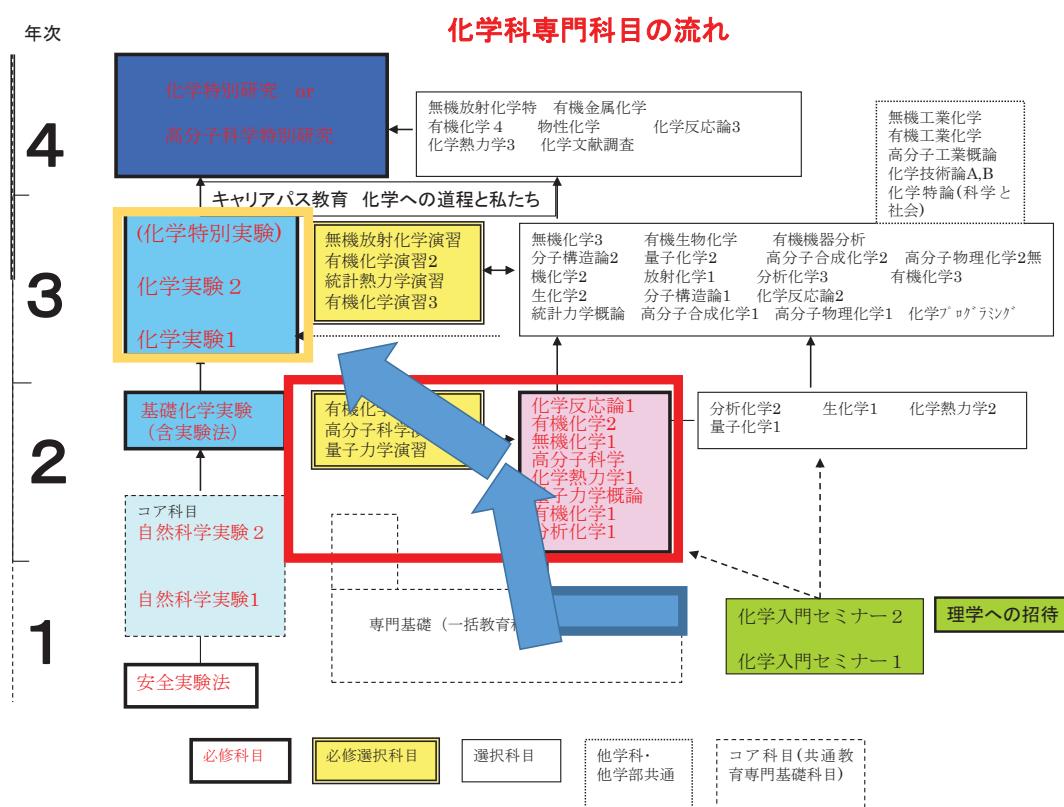
- ・実験がしたい 研究がしたい
- ・科学の知識をもっと広げたい

オナーセミナーを履修すれば研究室で、講義のあいた時間、休み期間を使って自主的な研究活動ができます（自ら課題設定、予算申請）。そして、学期末に研究発表会を行います。「**本格的な研究の体験**」  
**（大学院講義の受講）**

オナーディグリー

各学科の修了条件を満たした人（成績、オナーアクティビティ）は、卒業時に自己申告制でディグリーを与える（国内、唯一のプログラム）

# 化学科のカリキュラムと問題



## 問題点1

専門基礎(理学部コア科目)の1年次 特に後期から  
数物系科目の単位取得ができない学生が出始める

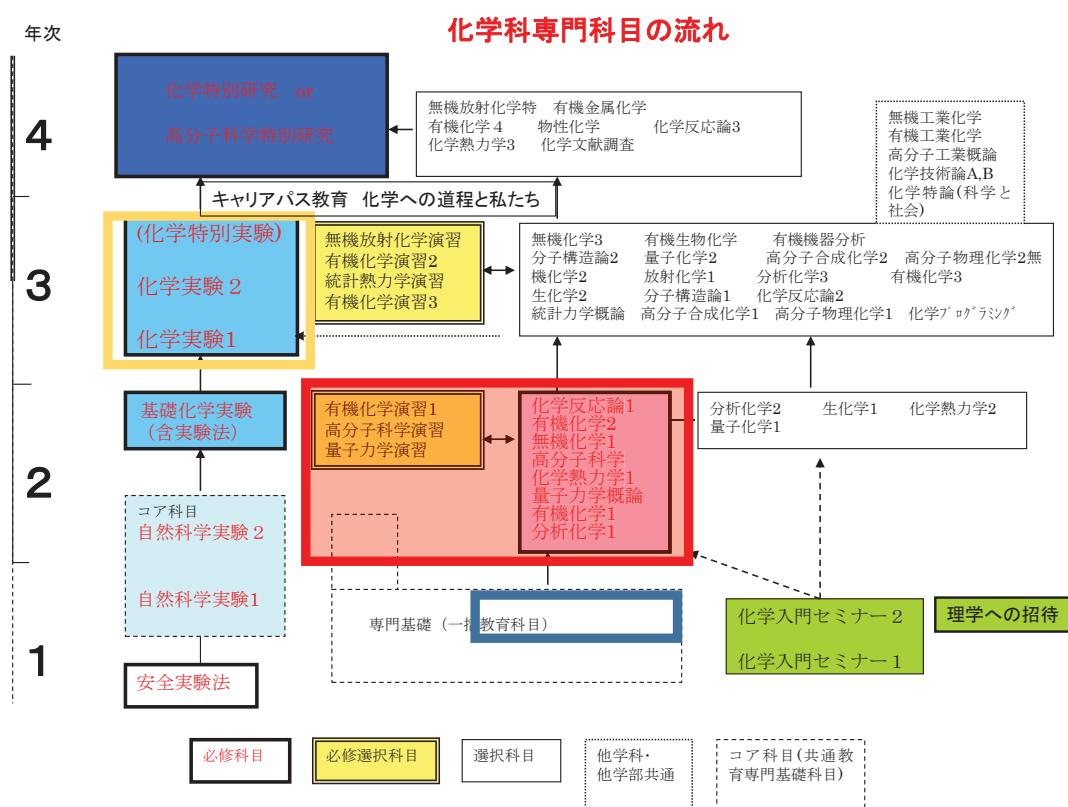
## 理由

- ・高校で、数物系科目を選択しない学生  
入試での選択 物理・化学 6割 化学・生物 4割

## 習熟度別講義の導入 教養(コア科目)、専門科目で 同じ内容を反復

- ・高校までのやり方が一番、通じない数学で、「覚える」「理解する」「考えて探求する」のバランスがとれていない

- ・基礎解析、線形代数、物理(電磁気)、基礎化学(物理化学のところ)など大学で新しく学ぶ分野に対応できない（補習や塾がない）

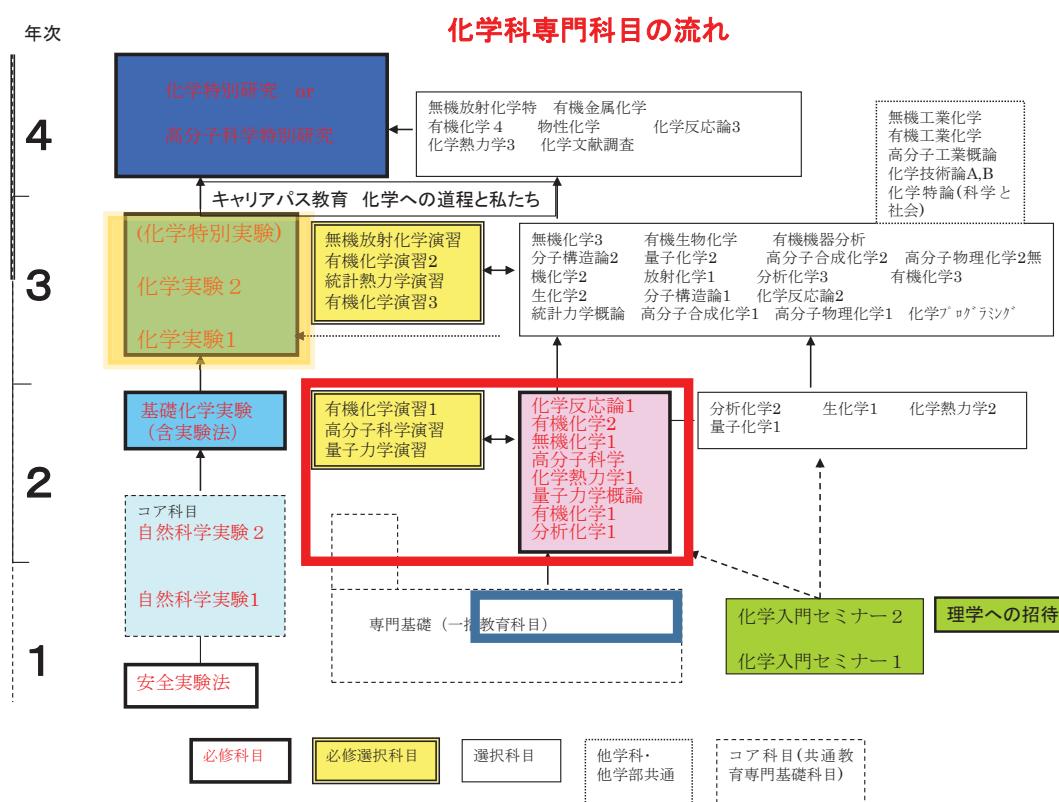


## 問題点2

2年生の必修科目、それに付随した演習科目の単位取得がおくれる  
→多重留年の可能性

理由

- ・サークル、部活で中心的な立場になる  
(物事を抱えすぎる傾向がある学生)
  - ・発達障害(精密装置を扱う実験、試薬を扱う実験の履修が困難な学生も  
大学に入学してから診断が出るケースも多い)
  - ・無気力、学習意欲の欠如、思考を継続する知的体力



## 問題点3

3年生の必修科目、特に化学実験1(測定、分析実験)、化学実験2(合成実験)(ともに必修)で、合格基準に満たない学生が年々増加

### 理由

- ・レポートが書けない(実験への出席は)  
論理的な思考が苦手(データの意味を考えることが苦手)  
国語が苦手  
文章を書くことが苦手
- ・情報の取得は得意(電子データ、webの情報のCut&Paste)
- ・コミュニケーションがとれない

### 対策

- ・学科長、教務委員長、担任、学生実験室の連携で早めの把握
- ・キャンパスライフ支援センター、保健センター等との連携
- ・親への連絡、特に成績不良者は履修状況、成績を連絡

特別措置を行うと翌年から基準の低下に直結  
(学年間の情報の伝達が非常に速い SNS)

- ・思考力、論述力、国語力、実践的な英語の能力を評価に入れる新テスト(H33年度から)へ  
(・不確定な要素は高い)

## 理学部の入試改革

平成25年度から 研究奨励AO入試  
高校時代に課題研究等で実績がある学生  
(書類、面接)  
前期試験 挑戦枠  
各学科の専門科目で思考型の入学試験  
(一般枠より優先して合否判定)

平成29年度から  
世界適塾入試(全学導入にあわせて改変)

**研究奨励型AO入試**  
(従来の研究奨励AO入試の継続)  
**挑戦型**  
(小論文形式 論述型の試験)

大阪大学 高等教育・入試研究開発センター(CHEGA) 分析

### 適塾入試合格者の自己評価

- ・優れている項目  
プレゼン能力、リーダーシップ、コミュニケーション能力

### 大学での学びについての期待

- ・興味のある分野を勉強したい
- ・教員に与えられるのでなく自分で探求する勉強をしたい
- ・学位取得希望

博士まで進学したい(39.1% 適塾)	24.6% 一般)
修士まで進学したい(87.0% 適塾)	83.7% 一般)

世界適塾入試で求める学生	
文	文学部では、哲学・歴史学・地理学・文学・芸術学・日本学など多岐にわたる教育・研究が行われています。文学部の世界適塾AO入試では、高等学校等でそのような文学部の学間に関連する学習・調査等の諸活動に主体的に取り組んだり、あるいは高い外國語能力を身につけたりした人で、それを大学での学びや研究に積極的に活かし、グローバル社会に貢献できる意欲的で優秀な人材を広く求めます。
人	人間科学部は、文系の學問と理系の學問の垣根をとりはらう「文理融合」という理念を掲げ、それぞれの学生が自分の関心したがって多様な力を身につけることができる教育プログラムを充実させています。よって、人間科学部の世界適塾AO入試では、高等学校等において、特定の教科の枠にとらわれない好奇心旺盛な態度（学齢性）、さまざまなフィールドで実践的活動に参加する行動力（実践性）、グローバルな諸課題に積極的に関与しようとする意欲や能力（国際性）などを示す活動をおこなった、あるいはそうした可能性をもった学生をもとめています。
外	・高等学校等で主体的に学ぶ態度と能力を身に付けた人 ・世界的規模の諸問題を解決するために、グローバル社会で活躍することを目指す人 ・異文化間の対話と相互理解を深める架け橋となり、人類と世界に貢献する意欲をもつ人
法	法学部で学ぶ専門力を基礎に、高校までに得た特別な経験や能力を活かしたい人や、グローバルなコミュニケーション力を伸ばしたい人を歓迎します。
経	経済学部のアドミッション・ポリシーは、以下のようないわゆる能力を持つ学生を求めています。 (1) 高等学校等で履修する国語、地理歴史、公民、理科、数学、外国語についての基本的な知識を持っている学生。 (2) 特定の分野で高い能力を持つ学生。 (3) 経済・経営の分野において、将来、グローバルに活躍する意欲のある学生。 このポリシーに従い、世界適塾入試においては、高等学校等で履修する国語、地理歴史、公民、理科、数学、外国語についての基本的な知識及び理解度について大学入試センター試験および調査書により判断するとともに、課外活動実績や英語の外部試験の成績など、特定の分野における高い能力を評価し、総合的な選抜を行います。
理 研究奨励	実験などを通して科学を楽しみ、高校などで自主的に研究活動を行った学生
理 Achive	自分自身の頭脳でどこまでも貼り強く考察して真理を探求・發信したい学生
医	科学に強い关心と学習意欲を持ち、自ら課題を設定し創造的に挑戦できる行動力を有し、豊かな人間性を持つ人。将来、グローバルに活躍する強い希望を持ち、医学研究者を志す方を歓迎します。
医保	【医学部保健学科が求める学生】（アドミッション・ポリシーより抜粋） ①保健医療科学の分野で自ら新しい道を切り開いていくことを意欲を持つ人 ②抱負大、他分野と協力しつゝ保健学を実践することに興味がある人 ③国際的視野にたって個人、集団を考えられる人 ④高い倫理感と豊かな人間性を持つ人
各専攻では、上記①～④に加え、下記の学生を求めます。 【看護学専攻が求める学生】 「優れた問題解決思考と対人能力を有する人」 【放射線技術学専攻が求める学生】 「医療科学を意欲的に追求する個性豊かな人」 【検査技術学専攻が求める学生】 「新しい学問に積極的に取り組む人」	
歯	歯学部では、「来たれ！世界を目指す未来の歯科医学研究者」をキャッチフレーズに、世界適塾入試での推薦入試の名定員枠で、最先端の歯科医師になることに加えて、将来の歯学研究を牽引し、世界的に活躍する歯科医学研究者を目指す人を募集することとする。
薬	薬学部では、幅広い薬学領域で活躍することにより社会に貢献できる人材を育成するために、論理的かつ柔軟な思考力と支える幅広い基礎知識を備え、さらに創造性豊かで何事を行うにも意欲的に取り組むことができる学生を求めます。 世界適塾入試では、こういった薬学部のアドミッションポリシーに適い、さらに以下のようないわゆる能力を持つ学生を求めます。 薬学科：卒業後は大学院（博士課程）へ進学し、学部・大学院合わせた10年間高度な医療薬学研究に打ち込もうという熱意があり、国際舞台で活躍できる薬の専門家（薬剤師、医療薬学研究者）となること。
工	工学部の世界適塾推薦入試では、本学部のアドミッション・ポリシーのもとに、志願する学科の専門分野を含む幅広い科学分野の学問・研究に強い興味を持つている人で、次のような人を求めます。 (1) 課題を自ら発見し解決しようとする意欲に溢れた人 (2) 高等学校等で主体的に学ぶ態度と能力を身に付けた人 (3) グローバル社会での活躍を目指す意欲の人 (4) 高い英語（外国语）運用能力を身に付けている人
基	大阪大学の世界適塾入試の基本方針のもとに、基礎工学部と志望学科のアドミッション・ポリシーで求める学生を選抜する入試を行います。とくに志願する学科における学問・研究に強い興味を持ち、自ら課題を発見して柔軟に対応することができ、適切にコミュニケーションできる人を求めます。



詳細は  
大阪大学  
ウェブサイト  
で

探究活動、教育は高校にとって非常に負担  
SEEDSなどの成果を、AO入試の条件として検討しても良いのではないか。

現状では制約  
(文科省の要請)

ある学問に非常に興味を持ち意欲が高い生徒が入れる可能性のある入試があると良い  
**挑戦型を受験して欲しい**

「世界適塾で合格できる生徒は一般でも合格できる」

これまでに近い  
早期に合格が決まる利点  
センター試験をある程度の基準に  
オナーセミナー(理)、自主研究などを  
奨励している

「合否ラインが見えない」  
「入学後は、一般の生徒と同じ扱いになる」

前期一般入試志望者にも受験チャンスが2回あることを利用して欲しい

# 【研究室訪問】

## 高大連携物理教育セミナー 基礎工学研究科研究室訪問 報告

日時：2017年8月8日（火）10-12時

場所：基礎工学研究科および基礎工学研究科付属極限センター 各研究室

高大連携物理教育セミナーにおける企画として、基礎工学研究科 物質創成専攻 物性系（物性物理工学領域+未来物質領域物性系）研究室訪問を行いました。これは基礎工学部電子物理科学科物性物理科学コースの8研究室から2研究室を1研究室あたり40分程度の時間で訪問してもらい最先端の物性研究の説明・装置見学・簡単な実習などを行っていただくものです。分野としては、物理の中でも物性物理と括られますがあくまで応用に近い内容から基礎的な内容まで多岐にわたり、基礎的でも意外と応用に近い研究室もあります。キーワードとしては、超伝導・光物性・シンクロトロン放射光・構造物性・超高压・計算物質科学・量子情報等となりました。研究室見学先については、あらかじめ各研究室から提示した簡単な内容紹介をまとめた要領を開催の案内と一緒に送付・周知しました。参加予定の方から研究室訪問の前日までに第4希望程度までを書いていただいた調査票を提出していただいたうえで、世話を人の関山がとりまとめて割り振り、8／8当日直前に各研究室に連絡しました。今回13名の方が参加しました。

当日は、まずセミナー会場であるシグマホールにて関山が基礎工学部物性コースの全体説明（別添）を15分程度で行いました。見学先の各研究室より引率者1名（教員、学生、職員）に全体説明終了までにシグマホールに来てもらうよう手配しており、全体説明終了後すぐに参加者は1回目見学先研究室への引率者のもとに集まって、そのまま見学先に向かいました。参加者には関山が作成した基礎工建物内地図およびメンバー／時間割り振り表を配布しておき、1回目見学先から2回目見学先への移動は原則10分間の移動・休憩時間中に参加者各自で行っていただきました。2回目の見学後現地解散（昼休み）と全体説明の際にアナウンスし、各自解散されました。過去の反省を生かし、1→2回目の研究室の移動については可能な範囲で関山が各研究室を回って案内・指示いただくことで昨年までよりはスムーズな移動ができたように思います。

参加された高校の先生方は概ね熱心に説明を聞き、実験装置に興味をもっていただけたようです。スライドでの説明後装置見学という研究室では、装置見学の方にむしろ熱心な参加者もおられ、40分では少し時間が足りないところもあったようですが、概ね適切な時間配分だったのではないかと思っております。

## 研究室訪問の様子



井元研（井元教授）



若林研（若林准教授）



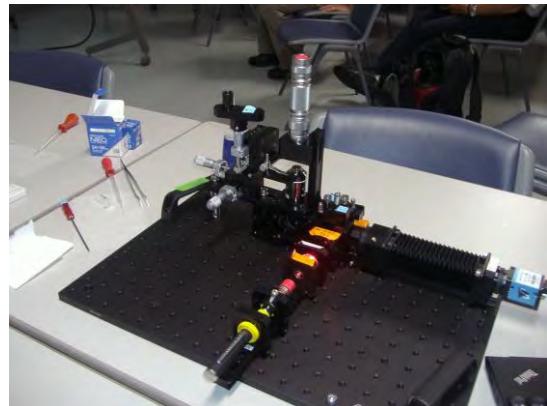
草部研（草部准教授）



鈴木研（三輪准教授）



石原研（石原教授）



光圧捕捉のデモ機（石原研）



椋田研（椋田准教授）



関山研（木須准教授）

この他に、清水研究室（基礎工学研究科科学センター）も参加して説明を行いました。  
ご協力頂いた先生方および参加された先生方、どうもありがとうございました。

# 大阪大学基礎工学部 電子物理科学科 物性物理学コース



## 大阪大学基礎工学部って？



1961年創設、今年で創設56年

「**科学と技術の融合**による**科学技術の根本的な開発**  
それにより**人類の真の文化を創造する**学部」

基礎工学=「基礎の工学あるいは工学の基礎」、ではない！

**Engineering Science** の訳語、つまりは「工学の科学」



## 物理学

物質の根源(ひも?)と  
時空の起源、  
それらを支配する基本法則

原子・分子・電子等のミクロな要素  
がマクロな数、集まり、相互作用  
することによって発現する現象  
の探求

量子力学 物性物理学 統計物理学

超伝導、超流動、磁性、半導体、レーザー、分子エレクトロニクス、  
量子情報 etc 個々の要素の基本法則だけでは理解不能

AINSHUTAIN  
カマリンオネス  
(超伝導発見、1911年)

## 物理学

物質の根源(ひも?)と  
時空の起源、  
それらを支配する基本法則

原子・分子・電子等のミクロな要素  
がマクロな数、集まり、相互作用  
することによって発現する現象  
の探求

量子力学 物性物理学 統計物理学

超伝導、超流動、磁性、半導体、レーザー、分子エレクトロニクス、  
量子情報 etc 個々の要素の基本法則だけでは理解不能

More is different!  
多は異なり

P.W. Anderson  
1977 ノーベル賞

# 物性物理学

物質の様々な性質の起源をミクロに解明  
新しいテクノロジーを生み出す



John Bardeen

半導体、トランジスタ等の  
電子デバイス: **基礎科学**としての  
**量子物理学**から生まれた

1956年 ノーベル賞  
(トランジスタの発明)  
1972年 ノーベル賞  
(超伝導の理論)

## 学部入試

2年生に  
なる時に  
わかる

電子物理科学科

定員 99人

エレクトロニクスコース  
定員 50人程度

物性物理科学コース  
定員 50人程度

化学応用科学科

定員 84人

合成化学コース  
定員 40人程度  
化学工学コース  
定員 45人程度

システム科学科

定員 169人

機械科学コース  
定員 80人程度

電子システム学コース  
定員 50人程度  
生物工学コース  
定員 40人程度

情報科学科

定員 68人

計算機科学コース  
定員 30人程度  
ソフトウェア科学コース  
定員 30人程度  
数理科学コース  
定員 10人程度

## 「物性物理学」とは？

物理学を基礎に「物質中のミクロな原子の世界」と「マクロな性質や現象」との関連を明らかにし、モノの性質(物性)を理解し、デザインし、これまでにない可能性を実現する先端科学

- 「物質の電気的、磁気的、光学的性質の理解」
- 「物質における未知の現象の探求」
- 「物質の性質を調べるための新しい測定方法の開発」
- 「新物質の創成」

[関連するキーワード] 超伝導、ナノサイエンス、半導体、レーザー、  
磁性、分子エレクトロニクス、量子情報など

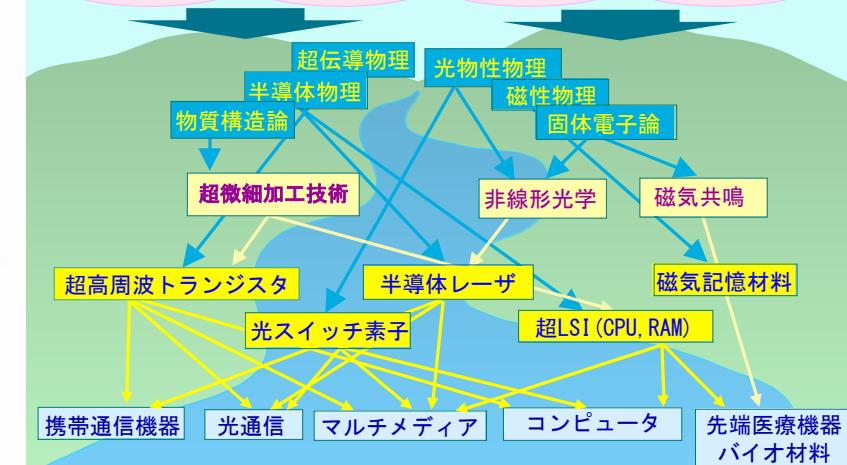
物性物理科学コースでは、

独創的な技術や工学を生み出す**物性物理**を  
基礎から応用まで幅広く学びます。

確かな物理的基礎力を身につけた技術・研究者は、自ら新しい流れ  
を創り出し、まだ**誰も見ぬ未来の技術を創出**することができます。

物性物理科学コースの学習内容と技術との関わり

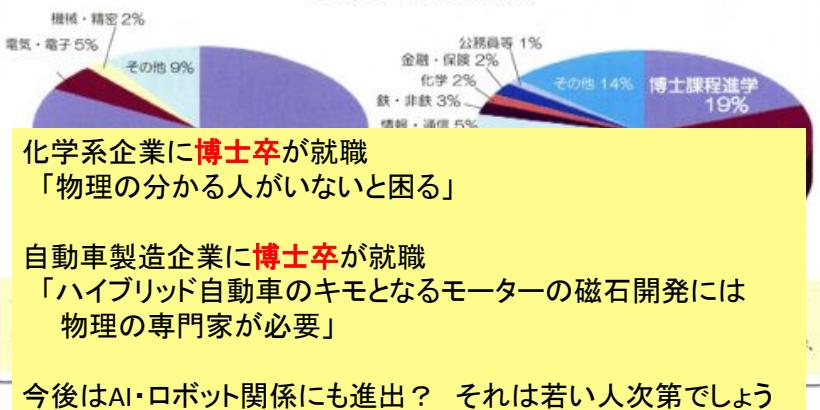
量子力学 統計力学 力 学 電磁気学



## 物性物理科学コース・物性物理科学分野の 過去5年間の就職先(業種別)

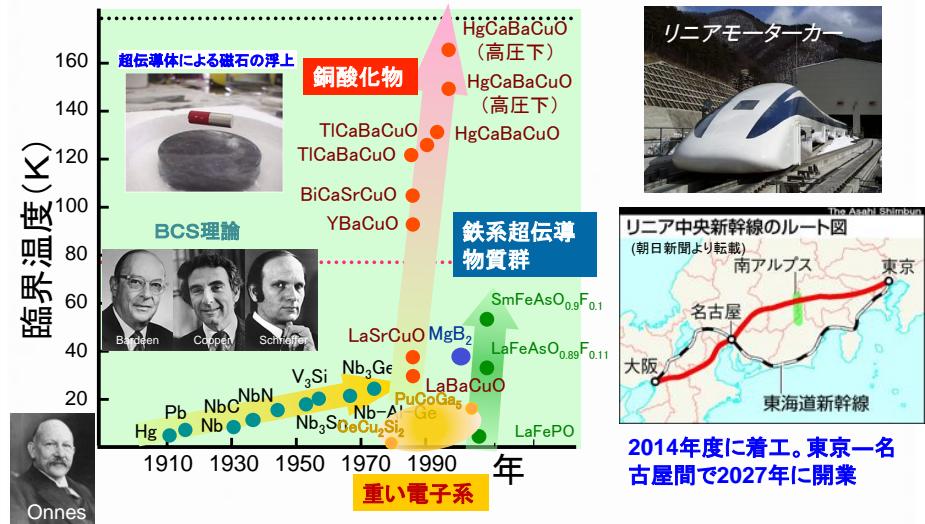
製造業含め本当に幅広い分野の企業で  
「物性物理の専門家」が求められている

過去5年間の就職先



超伝導

発見から100年目の超伝導



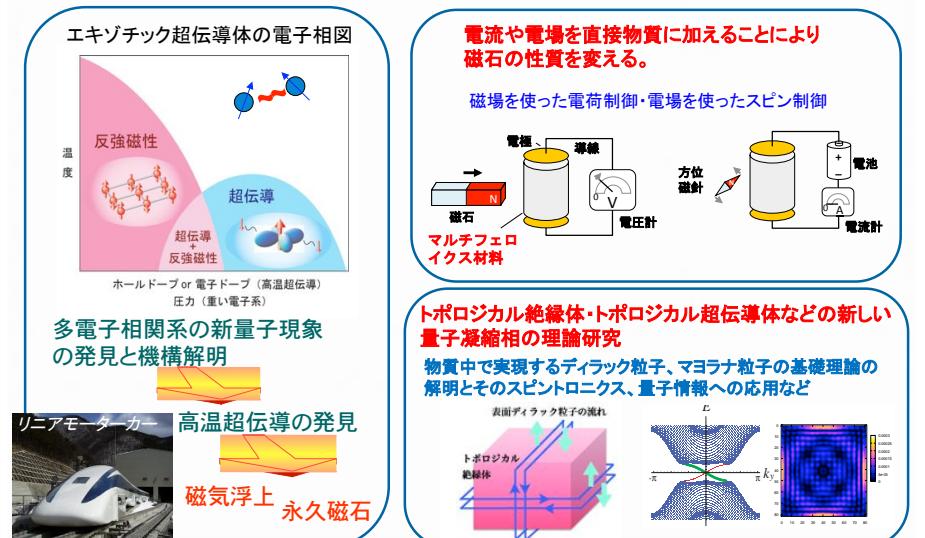
ここ20年間、これまでのBCS理論では説明できない超伝導体が続々と発見されてきた！

## 物性物理科学コースの研究室



## 強相関電子系グループ(椋田研、藤本研)

新しい超伝導体、磁性体に関する世界最先端の研究を進めています。







## 分子エレクトロニクス

## 分子エレクトロニクスって何？

文部科学省科学研究費補助金「新学術領域研究」平成25年度～29年度  
分子アーキテクニクス  
単一分子の組織化と新機能創成

サイトマップ | ログイン English メールアドレス パスワード ログイン

HOME ご挨拶 目次解説 公表情報 研究動向 ペーパーリスト 論文リンク 領域別

ご挨拶 新学術領域研究「分子アーキテクニクス」 (芦田研)

領域の発足にあたり

文部科学省科学研究費補助金新学術領域において、平成25年度より、「分子アーキテクニクス」の開始をお詫びいただきました。

一回、このヤンセンをいきし、研究を十分実りとともに新しい学術領域の創成に尽力で挑戦いたしました。

本領域の発足に伴い、多くの方々のご協力、ご支援ございました。この場を借りてお礼を申し上げるとともに、今後ともご指導ご鞭撻を賜りたくお願い申し上げる次第です。

（ひとつの分子の電気伝導度を計測する）といった貴をつかせような研究テーマにも実験に挑戦してくださった卒業生、スタッフの方々のおかげでありますことはうなづけられました。現在では、分子の電気伝導度を定量的に測定することが可能にならってきました。

本領域では、こうした努力のもとに創出された結果を発揮させ、かつ、その枠にとらわれることなく、分子エレクトロニクスの新しいスターへと躍進をめざします。

平成25年8月25日 大阪大学 基礎工学研究所 多田博一

研究概要 テレビ ニュース

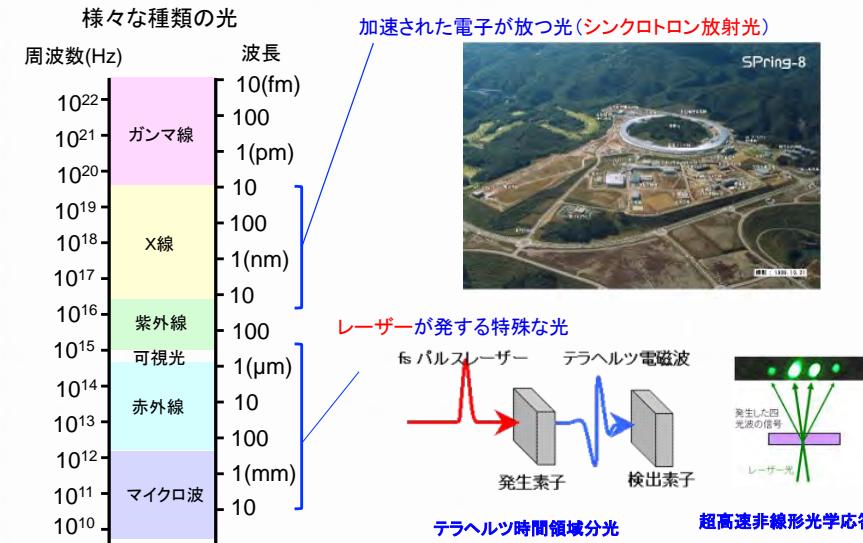
平成25年8月25日 大阪大学 基礎工学研究所 多田博一

= 2017/07/25 「新開拓」に注目! 金銀表面で分子を描いて格子を変える新・有機合成法を開発 (A01・03 共同研究)

= 2017/05/26

## 先端光技術

## 特殊な光を使って物質の個性を調べる。

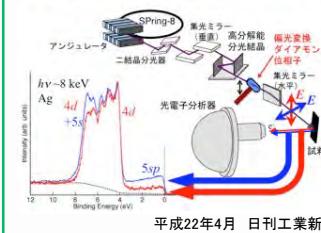


## 先端光技術

超伝導、スピントロニクス、分子エレクトロニクスなど様々な物質の個性を見分け、背後にある物理を理解し、新たな光技術を開発する。

(関山研、芦田研、清水研、若林研)

### 光電子分光測定で 金と銀の特性の違いを理解する

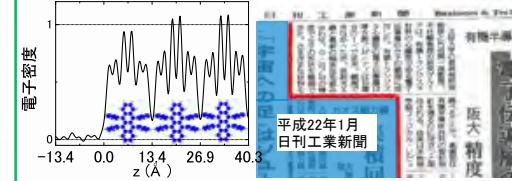


伝導電子、金と銀では別  
直接観測の新手法で解明

### レーザー光照射でナノ粒子を サイズごと選別する



### 有機半導体表面の微細構造を理解する



サイズ  
選別

光でナノ粒子操作  
平成18年8月

## 量子情報

## 量子情報・量子光学って何？

「情報は、光子や電子やスピンなどの物理的実体に載っている」

「物理的実体をつかさどる法則は量子力学である」

→「量子力学に則った情報理論を組み立てたらどうなるか？」

→「情報処理の革命が起こる！」→「ではそれを物理的に実現しよう！」

### 「できない」ことで有名な問題

現在の情報処理／通信技術でできること

量子コンピューターや量子通信で可能？

無条件安全なプライバシー通信

○(量子暗号)

選管を置かない選挙

?

巨大整数の素因数分解

○(量子コンピューター)

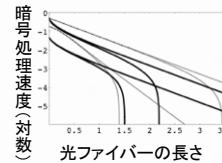
巨大有限体上の対数演算

○(量子コンピューター)

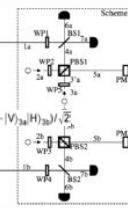
## 量子情報

量子暗号、量子コンピューティング、量子テレポーテーション等を  
新しい量子力学で実現することを目指しています。(井元研)

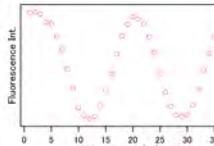
### 量子暗号の「現実条件下での」安全性の理論



### 量子演算光回路提案



### スピンを使った量子計算



ダイヤモンド中の点欠陥に  
局在するスピン

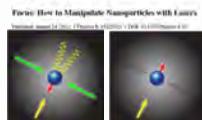
個々のスピンの制御と  
量子計算



## 独創的な物性理論研究室（石原研、草部研）

### 石原研 ナノ光物性理論

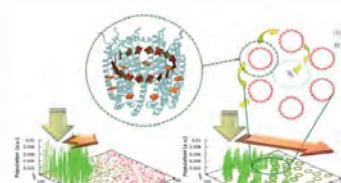
#### Physics



米国物理学  
HPで紹介され  
た光によるナノ  
物質運動操作  
の理論的予言  
の紹介



光の力で微小物質の人工的構造を作製するイメージ



なぜ円か？ 光合成細菌が持つ光捕集アンテナの形の謎に  
迫る！ 円形アンテナが超高効率エネルギー伝達を可能に  
する事をシミュレーションにより解明。

### 草部研 不確定性 の世界を探る

#### 基礎 量子力学と不確定性



#### 層状超伝導体の理論

K. Kusakabe, J. Phys. Soc. Jpn. 78  
(2009) 114716.

JPSJ Most Cited Articles in 2013 - 2009  
since Vol. 1 (1946)

Peculiar Localized State at Zigzag Graphite  
Edge : Mitsuaka Fujita, Katsunori  
Wakabayashi, Kyoko Nakada, and Koichi  
Kusakabe J. Phys. Soc. Jpn. 65 (1996) 1920

#### 応用 Pd nano-particle Pd oxide film



ペロブスカイト型三元触媒の  
機能化と脱貴金属化

K.Kusakabe&H.Kizaki Japan patent submitted  
#2009-204665

## 独創的な物性理論研究室（石原研、草部研）



科学研究費補助金新学術領域研究 平成28年～32年  
光圧によるナノ物質操作と秩序の創生

English

HOME

研究概要

研究組織

公募要領

研究成果

ニュースレター

メンバー専用

新学術領域研究「光圧によるナノ物質操作と秩序の創生」（石原研）

イベント

- 2017/01/17-18 第1回公開シンポジウムを開催いたしました。
- 2016/11/25 ニュースレター第1号を発行しました。
- 2016/09/01 公募要領を公開しました。
- 2016/08/31 キックオフシンポジウムの参加登録を開始しました。
- 2016/08/10 領域ホームページを立ちあげました。

お知らせ

- 2016-11-28 第1回公開シンポジウムの登録を開始いたしました。
- 2016-11-25 ニュースレター第1号を発行しました。
- 2016-09-01 公募要領を公開しました。
- 2016-08-31 キックオフシンポジウムの参加登録を開始しました。
- 2016-08-10 領域ホームページを立ちあげました。

する事をシミュレーションにより説明。

## 物性コース教員らによる研究成果

本コースの教員らによる研究成果は国内外において確めて高い評価を得ています。このことは、

競争的資金の獲得件数・出願・国際会議の招待講演数、新規参画などの実績した結果に表れています。

コースの受賞歴は、

- 近年の受賞歴
  - 文部科学省人材育成・科学振興賞
  - 日本学術会議賞
  - 日本学術振興会賞
  - つくば賞
  - 農業生物活性化合物賞
  - 日本物理学会賞
  - 日本物理学会賞
  - 大脳学会賞・研究功績賞

物性コース教員は  
世界最先端の研究  
新概念・研究分野の創出  
を実践することで  
国際的に高い評価を受け

数々の受賞・新聞報道  
にも現れています

文部科学大臣表彰(H25,H26)  
日本磁気学会業績賞(H26)  
井上奨励賞(H26)  
VUVX Conference Award (H28)  
日本高圧力学会賞 (H28)

...

【講義】

# —超伝導の起源— 「仲の悪い電子と仲のよい電子たち」

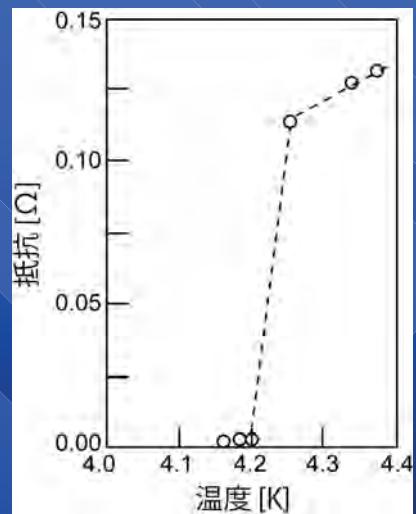


大阪大学・理学研究科・物理学専攻

黒木和彦

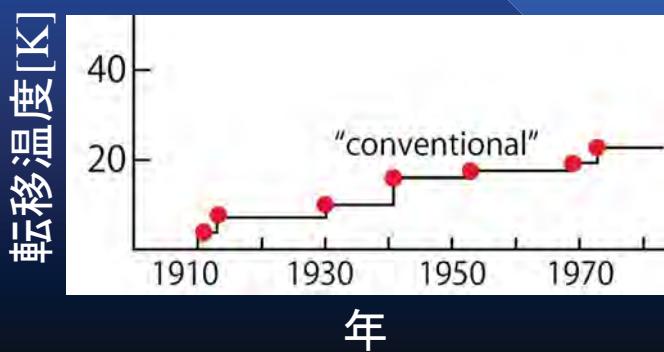
## 超伝導とは？

ある臨界温度( $T_c$ )と呼ばれる  
温度以下において、  
電気抵抗が0になる現象

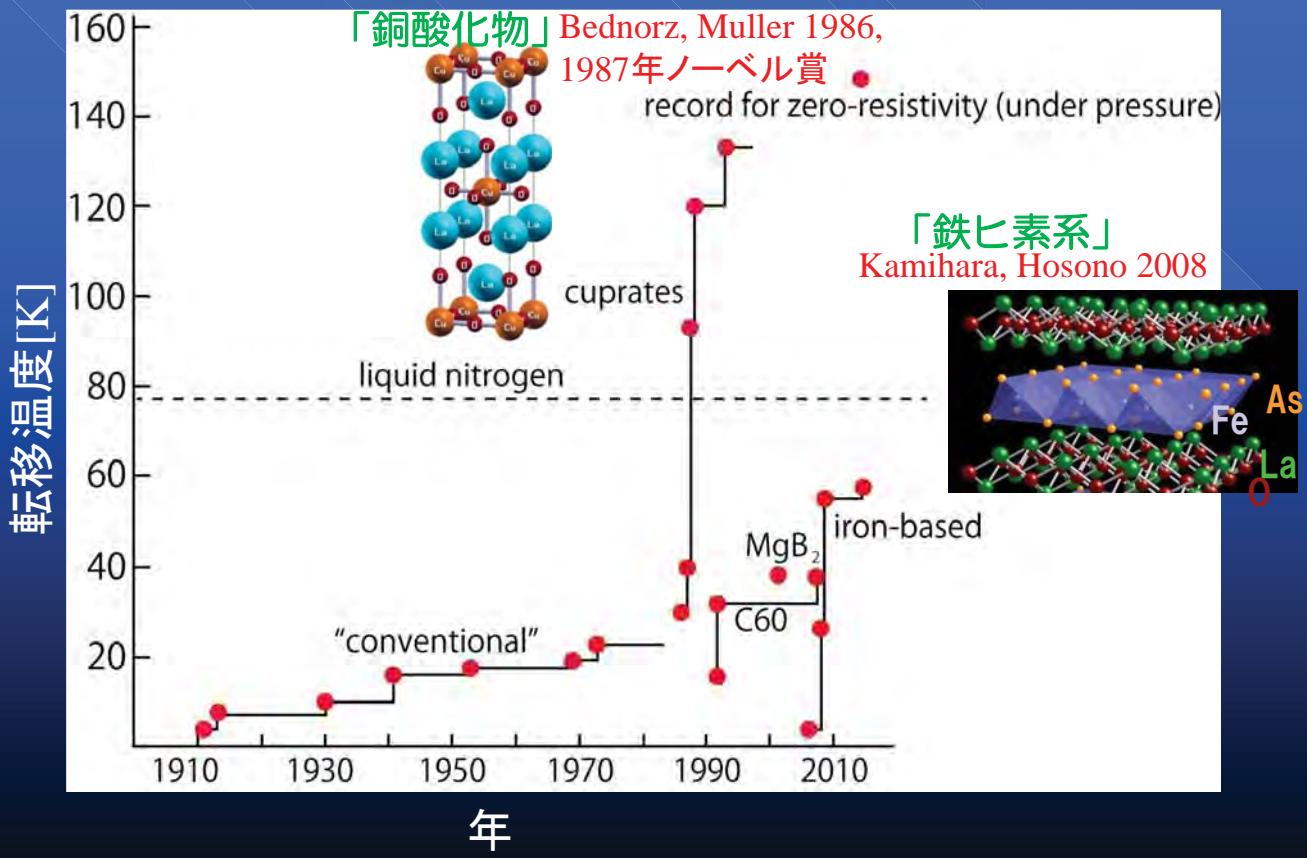


Kamerlingh Onnes 1911

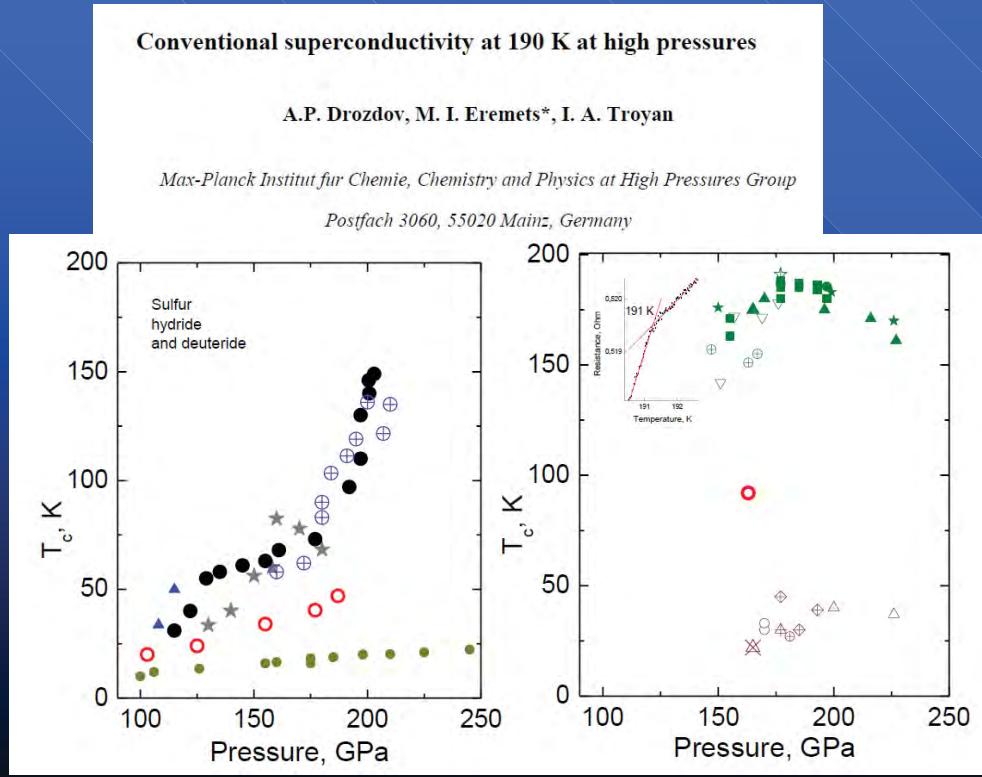
# 超伝導転移温度は低い！



## 高温超伝導の発見



# 超高压下で高温超伝導の発見



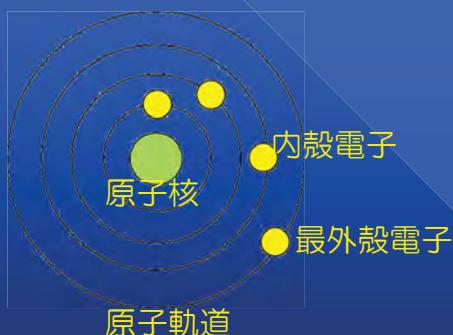
## 原子、電子、結晶

### 原子の構成



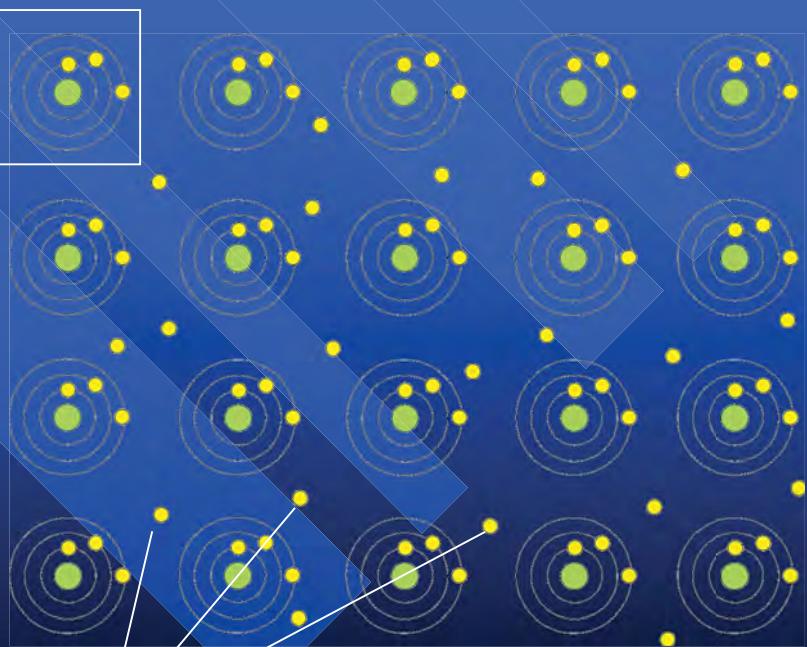
# 原子、電子、結晶

## 原子の構成



イオン

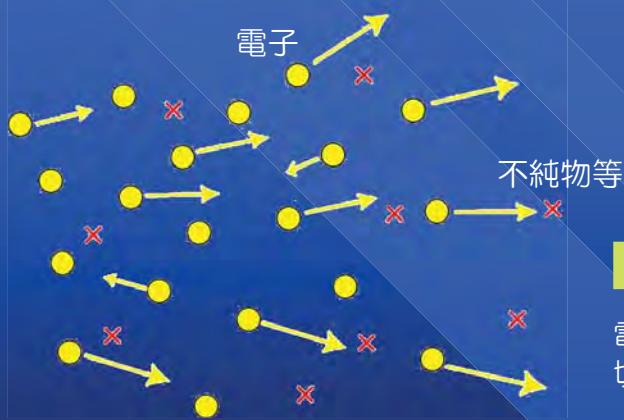
固体（金属結晶）



(最)外殻電子は原子を離れて結晶中を動く

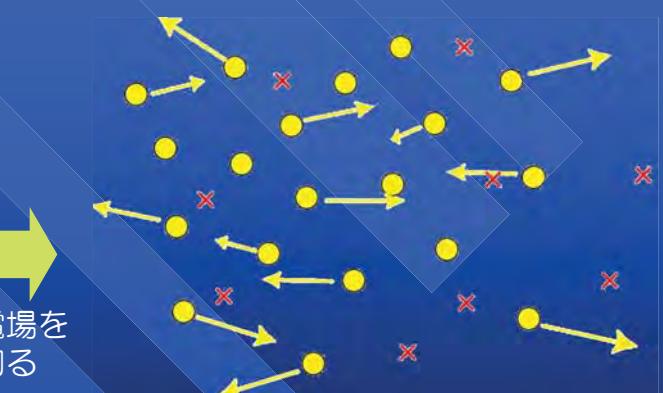
# 電流と電気抵抗

電場(電界) $E$



電場と反対方向に電子の正味の流れがある

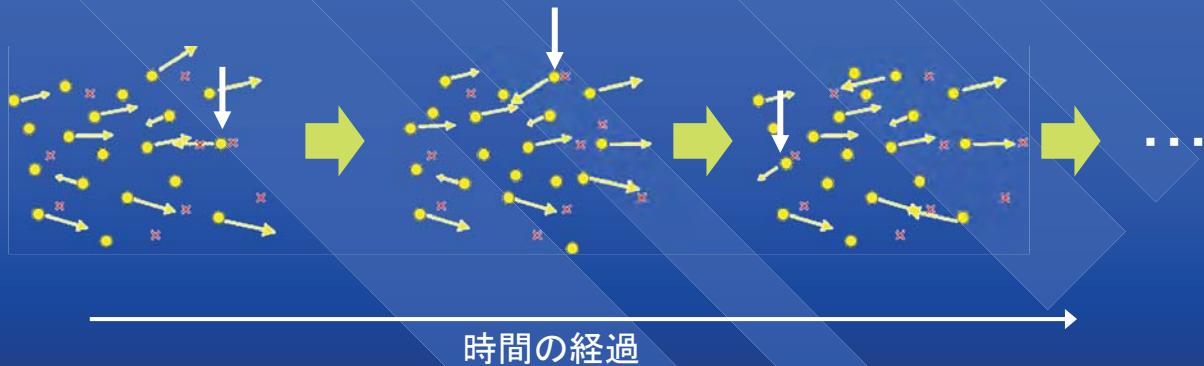
電場を  
切る



電場を切ると右向きと左向きの電子が同数の状態に落ち着き、正味の電子の流れはなくなる

不純物、欠陥、イオン振動等が要因となって電気抵抗が生じる

# 電流の減衰は 「すばやく、しかし徐々に」おこる



電場を切った際に電流が流れなくまでの過程は、無数にある電子の運動量が次々とすばやく、しかしあくまで一個づつ変わる変化である。

## ド・ブロイ波

1924年、ド・ブロイは博士論文において、  
電子などの粒子と考えられているものも、波動性を持つと考えた。

粒子の持つ波動性を「物質波」あるいは「ド・ブロイ波」といい、  
その波長 $\lambda$ を「ド・ブロイ波長」という。

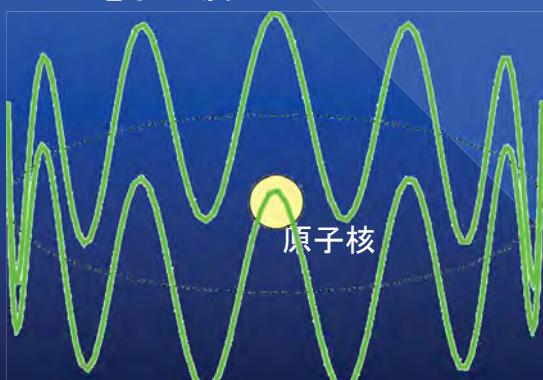
# 電子の波動性

量子力学では電子の状態は波として記述される

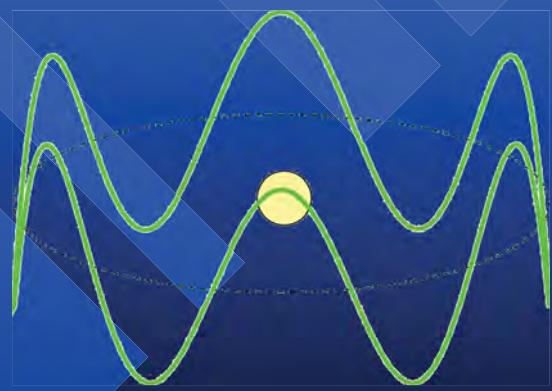
一個の原子の原子軌道の場合

安定な状態（定常状態）に落ち着くための条件

電子の波



波長の整数倍=円周の長さ  
[ボーアの量子化条件]



ある定常状態から別の定常状態に移るには不連続な変化が必要

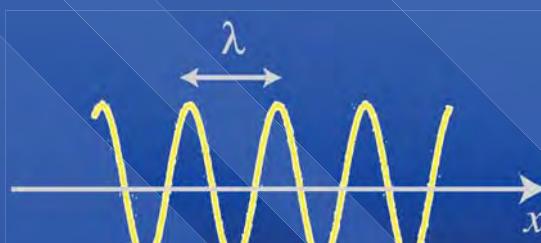
一個の電子の波は「微視的な(目に見えない世界の)波動現象」である

## 「波」の式

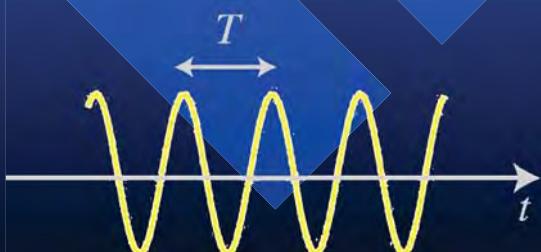
$$y(x,t)=A\sin[2\pi(t/T-x/\lambda)]$$

波の波長 $\lambda$ ,周期 $T$

$t$  (時刻を固定)



$x$  (座標を固定)



# 「波」の式

$$y(x,t) = A \sin[2\pi(t/T - x/\lambda)]$$

波の波長 $\lambda$ , 周期 $T$



波数 $k=2\pi/\lambda$ , 振動数 $\omega=2\pi/T$ , 位相 $kx-\omega t$

$$y(x,t) = B \sin[kx - \omega t]$$

## 電子の波動性

波数 $k=2\pi/\lambda$ , 振動数 $\omega=2\pi/T$ , 位相 $kx-\omega t$   
 $\omega$ と $k$ の間には一定の関係がある（分散関係）



結晶中の各電子の「量子力学的状態」は  
波数 $k$ によって指定できる。

粒子としての運動量 $p$ と波としての波数 $k$ には

$p=\hbar k$  : ド・ブロイ(de Broglie)の関係

$$\hbar = 1.0546 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$$

の関係がある

# 電子のスピンとパウリの原理

電子は小さな磁石の性質をもつ。これを「スピン」という。N極S極の向きに応じて、スピン $s$ は $+\hbar/2$ または $-\hbar/2$ の値をとる。

結局、結晶中の各電子の状態は $(k,s)$ の組で指定される。

$$\begin{array}{ccc} \uparrow & p=\hbar k & \rightarrow \\ & s=+\hbar/2 & \\ \downarrow & & -\hbar/2 \end{array}$$

電子の「仲の悪さ」その1：パウリ(Pauli)の原理

二つの電子が同じ状態 $(k,s)$ にあることは許されない

$p=\hbar k$ なので、同じスピンを持った二つの電子が同じ運動量を持ってはいけない！  
古典力学ではありえないこと

量子力学的粒子「フェルミ粒子」の性質



## フェルミ粒子とボーズ粒子

ボーズ粒子：スピンは $\hbar$ の整数倍

一つの同じ状態 $(k,s)$ に何個の粒子がいてもOK

系のすべての粒子が同じ波数 $k$ を持つことが可能

これを「ボーズ・アインシュタイン凝縮」(BEC)という

全ての粒子の波としての位相 $kx-\omega t$ がそろう！

「コヒーレント(coherent)な状態」

# コヒーレントな状態



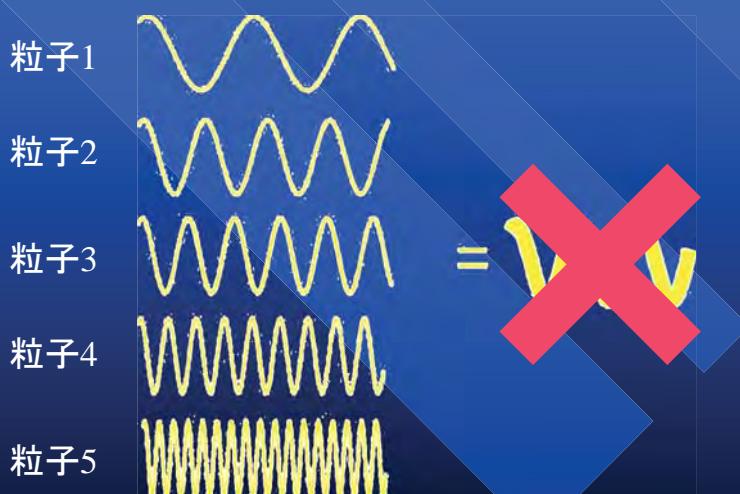
波の位相  $kx - \omega t$  がすべての粒子で同じ

多粒子系全体としての状態を位相の定まった波として表せる

# フェルミ粒子とボーズ粒子

フェルミ粒子：スピンは  $\hbar$  の半整数 ( $1/2, 3/2, \dots$ ) 倍  
一つの状態  $(k, s)$  にはひとつの粒子しかいられない

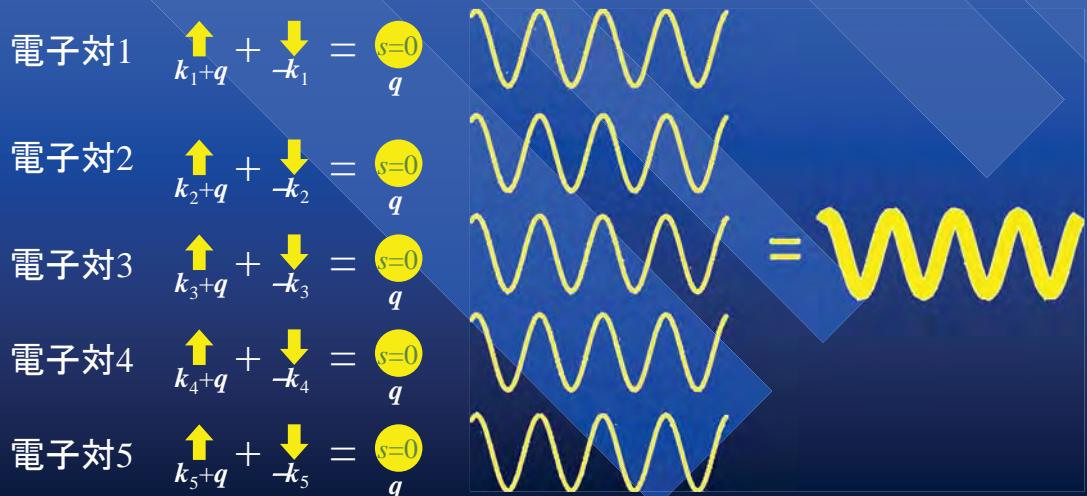
多粒子系では各粒子の波の位相はバラバラ



多粒子系全体として状態を位相の定まった波で表せない

# フェルミ粒子×2=ボーズ粒子

スピン $+\hbar/2$ の電子とスピン $-\hbar/2$ の電子が対をつくって  
ひとつの粒子とみなせれば、スピンはうち消しあって $s=0$ ( $\hbar$ の整数倍)  
なので、ボーズ粒子となる→コヒーレントな状態を作りうる！



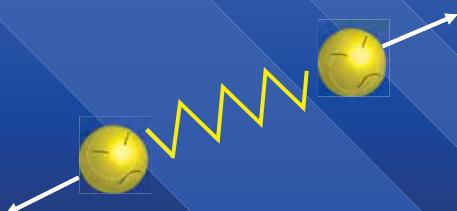
注：二つの電子の波数を合計したものが電子対の波数となる

## クーロン反発力

しかし....

電子の「仲の悪さ」その2：クーロン反発力（斥力）

電子は負の電荷を持つので、クーロン力で反発しあう。  
力は電子間距離の2乗に反比例、位置エネルギーは距離に反比例

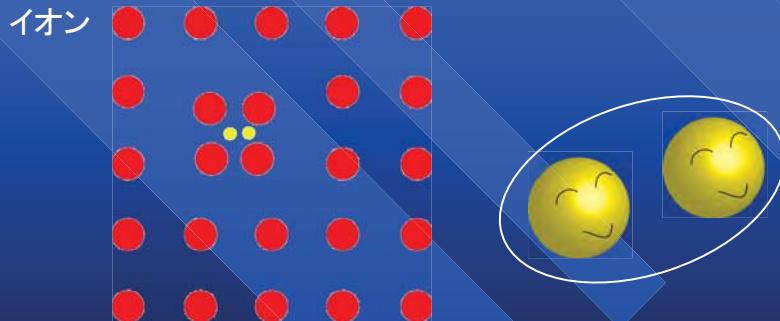


電子が接近すると、位置エネルギーの高い不安定な状態に。  
→離れて位置エネルギーの低い安定な状態に戻ろうとする  
(物体が高いところから低いところに落ちるのと同じ)

電子対などつくれそうにない

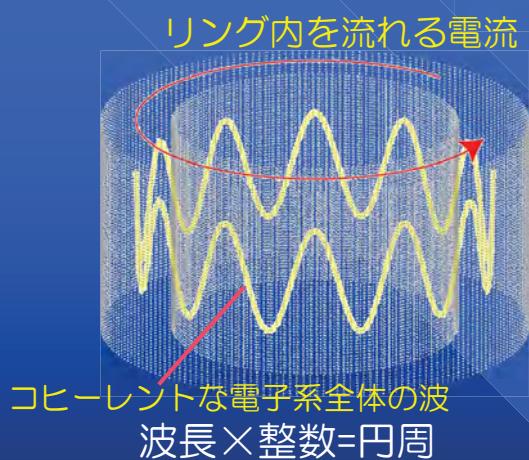
# イオン（結晶格子）の効果を利用して電子対をつくる

正に帯電したイオン（正確にはイオンの振動）が  
「仲の悪い」電子間の「仲介役」を果たす

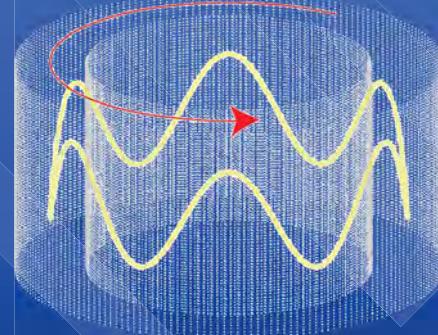


「仲のよい」電子になる→電子対（クーパー対）の形成

## 巨視的な波の安定な定常状態： 永久電流



波長の長い、すなわち波数（電子対の運動量）の小さい状態に移った場合、電流は減少している

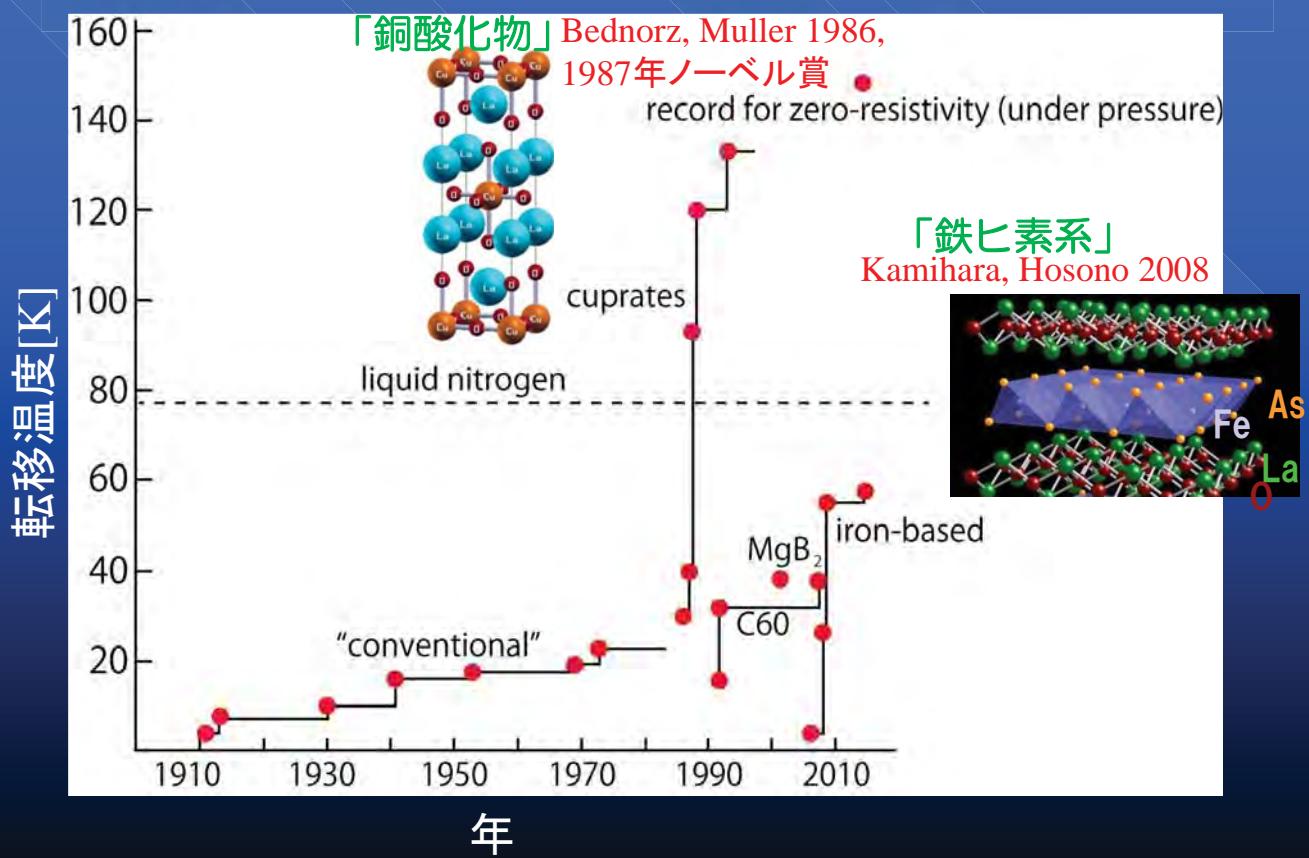


電子系全体が、ある状態から別の状態に移るには、結晶中の  
( $10^{23}$ 個もある)全ての電子の状態を（一個ずつではなく）いっせいに  
変える、不連続な変化が必要→不可能!!



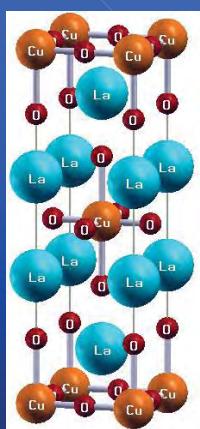
外場がなくても電流は減少しない：電気抵抗0の永久電流

# 銅酸化物における高温超伝導の発見

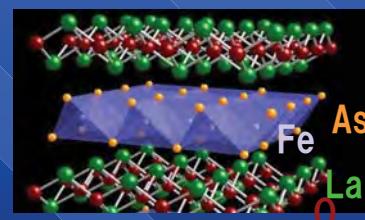
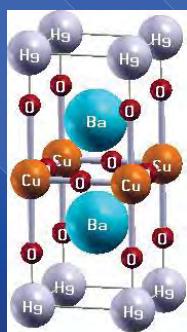


「電子たちのものすごい仲の悪さ」  
が原因で起きる超伝導？

銅酸化物

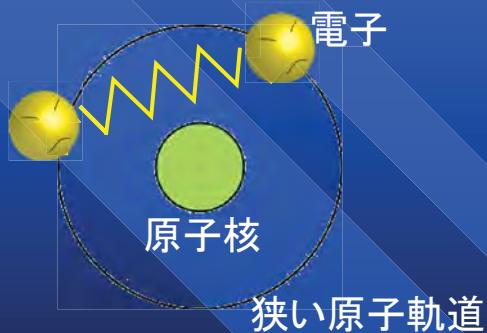


鉄系超伝導



# 強相関電子系： 「すごく仲の悪い」電子たち

d軌道やf軌道：原子軌道が狭いため、二つの電子がひとつの原子軌道に入ると非常に接近する→強いクーロン反発力による高い位置エネルギー、不安定な状態



上は原子一個の話だが、このような原子が結晶をつくった場合、強いクーロン反発力の効果は生き残る

## 実空間と波数空間

実空間：座標 $r$

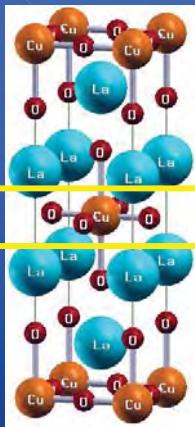
「粒子」

波数空間：波数 $k$

「波動」

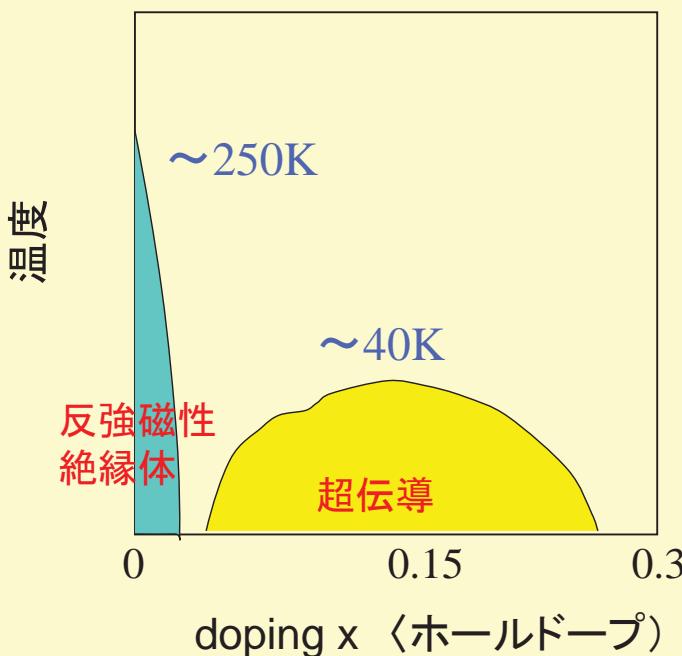
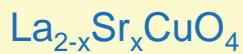
フーリエ変換

# 銅酸化物



CuO<sub>2</sub>面が  
主役

## 相図

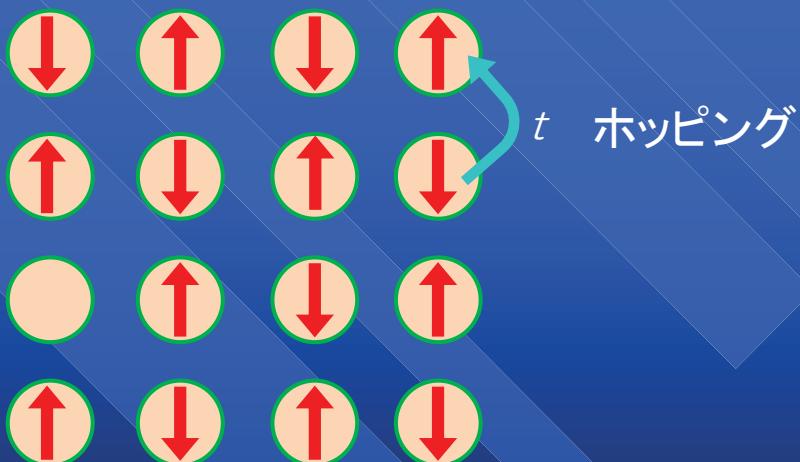


## 銅酸化物の模型

### 単一軌道ハバード模型

U オンサイト相互作用

実空間模型：  
電子は原子に  
「束縛」されて  
いて、ときどき  
別の原子に移動



電子数=サイト数のとき : half-filled 銅酸化物母物質に対応

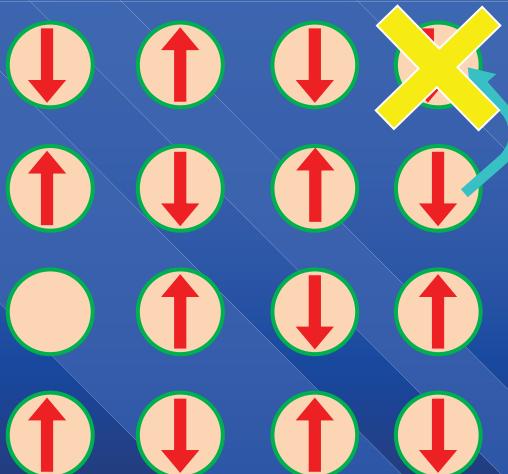
近年、Uやtの値は、計算機を使った理論計算で計算できる。

電子間斥力のみ・フォノンは考えない  
→超伝導を記述し得るか？

## ■ 超伝導を期待しない理由 仲の猛烈な悪さ

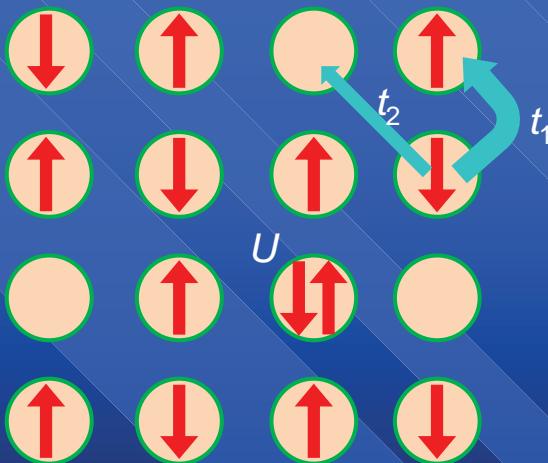
## ■ 高温超伝導を期待する理由 purely electronic (unconventional) エネルギー規模の説明

# 銅酸化物の模型 単一軌道ハバード模型



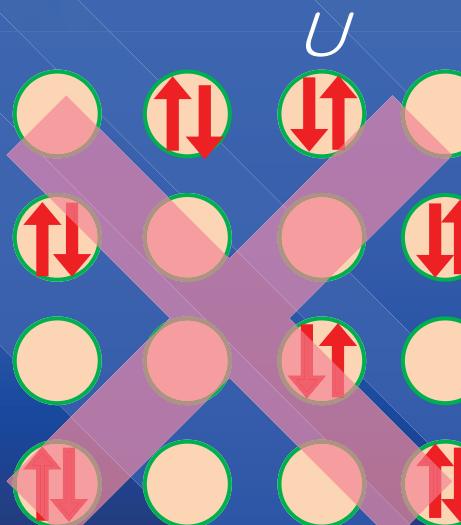
仲の悪さ：実空間におけるパウリの原理  
同じ向きのスピンの電子は同じサイトにいられない

# 銅酸化物の模型 単一軌道ハバード模型

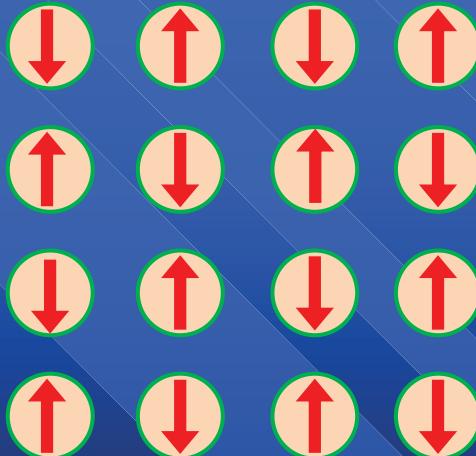


理論計算によると、  
銅酸化物の場合、最隣接サイト間ホッピング  $t_1$   
がそれ以外のホッピングに比べて大きい

## 通常の超伝導の実空間イメージ



# 单一軌道ハバード模型



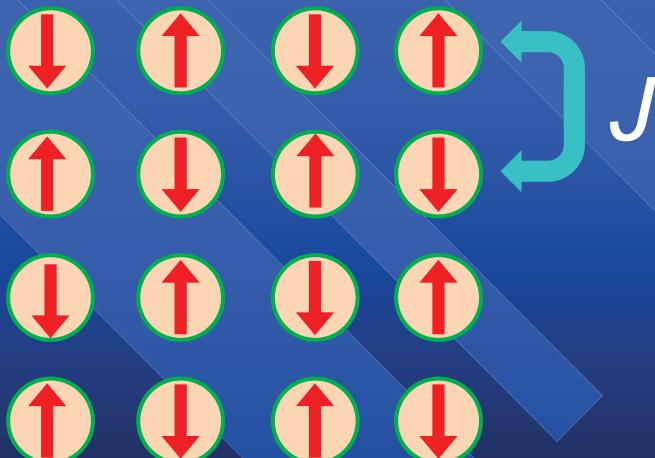
電子数=サイト数のとき : half-filled 銅酸化物母物質に対応

モット絶縁体 :

half-filled = 電子の「強烈な仲の悪さ」  
ゆえに身動き取れない絶縁体の状態

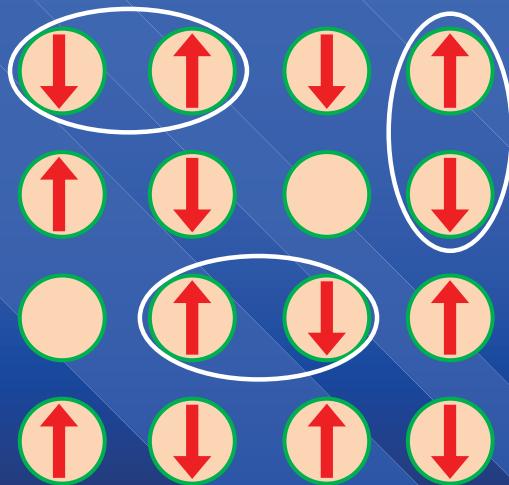
# 单一軌道ハバード模型

…とはいっても、少しば動きたい。



パウリの原理があるので、お隣どうしは、  
スピニンが反対向きになっていたほうが動ける。  
→反強磁性的相互作用

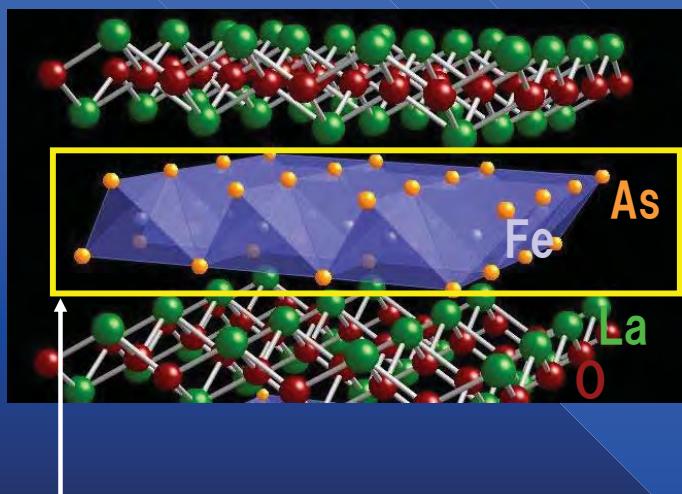
# 单一軌道ハバード模型



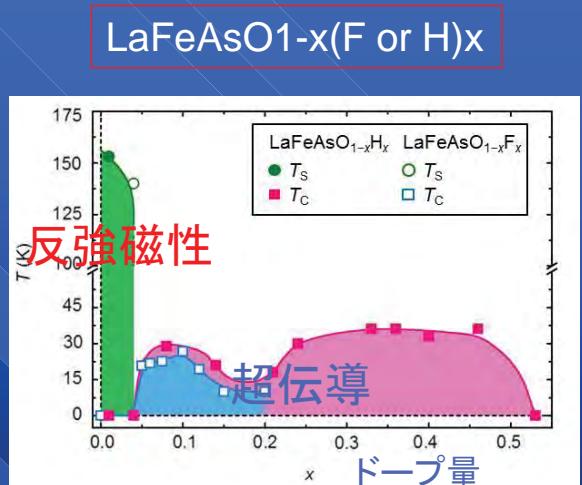
反強磁性的相互作用  
＝スピン逆向き電子が

隣に来やすいという「引力」と解釈できる。  
ホールが入って（穴が空いて）電子が動けるようになって  
も、穴が少なければ、「最隣接サイト間引力」は残る。

## 鉄系超伝導体

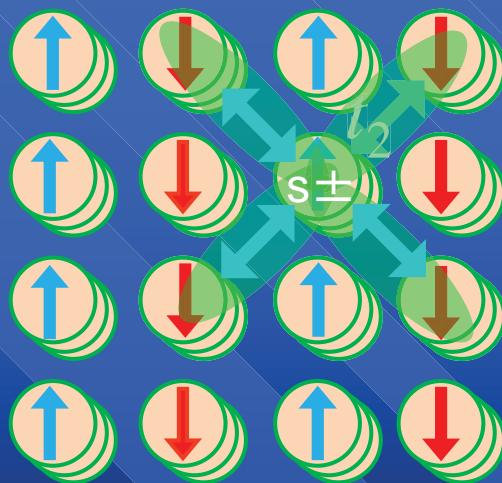


FeAs面が主役



Iimura et al. ,Nat. Comm. 3 943 (2012)

# 鉄系超伝導体の模型



理論計算によると、鉄系の場合、第二隣接サイト間  
ホッピング $t_2$ がそれ以外のホッピングに比べて大きい  
→第二隣接サイト間に反強磁性相互作用  
→第二隣接サイト間にスピン逆向き電子間引力

## 高温超伝導体における共通性



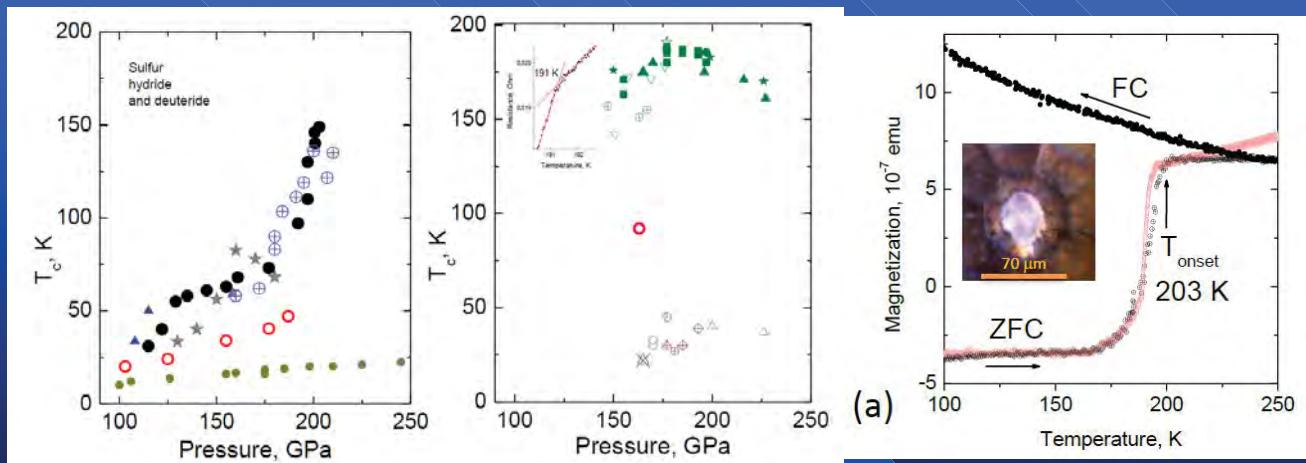
# 物質に関する理論研究の流れ



## 超高压下高温超伝導の発見

2014 December, Drozdov et al. Nature 525, 73 (2015)

$H_3S$ に超高压~200GPaで  $T_c > 200K$



極めて軽い「水素」の高いフォノン振動数が高温超伝導の一因。  
特異なバンド構造も重要な要因であることがわかつてきた。

# 初の”理論先導”による高温超伝導の発見

2014 April, Y.Li et al. J. Chem. Phys. 140, 174712 2014

H<sub>2</sub>S 160GPa でT<sub>c</sub>=80K を理論的に予想

2014 Nov, D.Duan et al. Sci. Rep. 4 6968 2014

H<sub>3</sub>S 200GPa でT<sub>c</sub>=200K を理論的に予想

McMillan Allen Dynes の式

$$T_c \sim \langle \omega \rangle \exp \left[ \frac{1 + \lambda}{\lambda - \mu^*} \right]$$

フォノンの振動数

電子・フォノン結合

擬クーロン・ポテンシャル

ただし、H<sub>3</sub>Sはフォノン媒介超伝導（高温だが、従来型超伝導）

水素は軽い → 振動数  $\omega \propto 1/m^{1/2}$  (単振動の式) → 高温超伝導

## 非従来型高温超伝導体における共通性

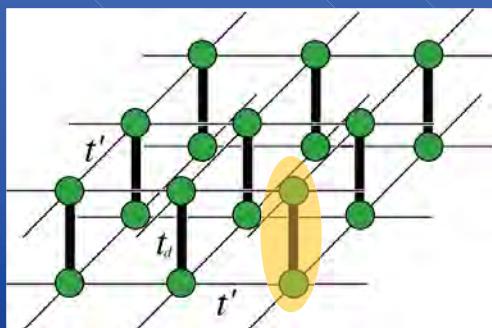


なぜ $T_c$ が高いのか？という質問→フォノンが絡まないことによ  
エネルギーの高さ+動きやすさについての説明をした。

## 非従来型高温超伝導体の「物質設計」

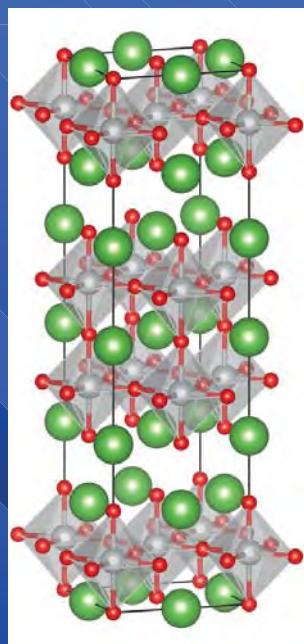
二層系

層間ホッピング>層内ホッピング



層間ペアリング

計算から銅酸化物を超える $T_c$ の可能性  
KK et al., Phys. Rev. B 66, 184508 (2002)



このような電子状態を実現する物質を理論的に探索するという  
「逆問題」にチャレンジ中

## 物質に関する理論研究の流れ

実験結果

実験結果

元素・  
結晶構造

理論計算  
バンド構造・  
モデル

元素・  
結晶構造

理論計算  
バンド構造・  
モデル



予測: 理論設計

実験結果

理論計算  
バンド構造・  
モデル

3 説明・理解

予測: 理論設計

理論計算  
バンド構造・  
モデル

3 理論は  
正しかったか?  
フィードバック

「物質設計」