

# 「物理」 指導の手引き

2016年 第1回評価



# 「物理」 指導の手引き

2016年 第1回評価

## ディプロマプログラム (DP)

### 「物理」指導の手引き

2014年2月に発行の英文原本 *Physics guide* の日本語版  
2015年5月発行

本資料の翻訳・刊行にあたり、  
文部科学省より多大なご支援をいただいたことに感謝いたします。

**注：** 本資料に記載されている内容は、英文原本の発行時の情報に基づいています。ただし、ディプロマプログラムの概要を説明している「ディプロマプログラムとは」のセクションに限り、日本語版刊行時現在の新たな情報が反映されています。

非営利教育財団 国際バカロレア機構  
(International Baccalaureate Organization)  
15 Route des Morillons, 1218 Le Grand-Saconnex, Geneva, Switzerland

発行所  
International Baccalaureate Organization (UK) Ltd  
Peterson House, Malthouse Avenue, Cardiff Gate  
Cardiff, Wales CF23 8GL, United Kingdom

ウェブサイト : [www.ibo.org](http://www.ibo.org)

© International Baccalaureate Organization 2015

国際バカロレア機構 (以下、「IB」という。) は、より良い、より平和な世界の実現を目指して、チャレンジに満ちた4つの質の高い教育プログラムを世界中の学校に提供しています。本資料は、そうしたプログラムを支援することを目的に作成されました。

IBは、資料の中で利用する多様な情報源について、情報の正確さと信憑性を確認します。ウィキペディアのようなコミュニティーベースの知識源を使用する際には、特に留意します。IBは知的財産の原則を尊重し、利用する著作物すべてについて刊行前に著作権者を特定し、許諾を得るよう常に努力します。IBは、本資料で利用した著作物に対して許諾をいただいたことに感謝するとともに、誤記および遺漏がありました場合には、可能な限り早急に訂正いたします。

本資料に関するすべての権利はIBに帰属します。法令またはIB内部規則もしくは方針に明記されていない限り、IBの事前承諾書なしに、本書のいかなる部分も、形式と手段を問わず、複製、検索システムへの保存、送信を禁じます。詳しくは [www.ibo.org/copyright](http://www.ibo.org/copyright) をご覧ください。

IBの商品と刊行物は、IBストア (<http://store.ibo.org>) でお求めください。ご注文については、販売・マーケティング部にお問い合わせください。

電子メール : [sales@ibo.org](mailto:sales@ibo.org)

International Baccalaureate、Baccalauréat International および Bachillerato Internacional は、International Baccalaureate Organization の登録商標です。



## IBの使命

### IB mission statement

国際バカロレア（IB）は、多様な文化の理解と尊重の精神を通じて、より良い、より平和な世界を築くことに貢献する、探究心、知識、思いやりに富んだ若者の育成を目的としています。

この目的のため、IBは、学校や政府、国際機関と協力しながら、チャレンジに満ちた国際教育プログラムと厳格な評価の仕組みの開発に取り組んでいます。

IBのプログラムは、世界各地で学ぶ児童生徒に、人がもつ違いを違いとして理解し、自分と異なる考えの人々にもそれぞれの正しさがあり得ると認めることのできる人として、積極的に、そして共感する心をもって生涯にわたって学び続けるよう働きかけています。



# IBの学習者像

すべてのIBプログラムは、国際的な視野をもつ人間の育成を目指しています。人類に共通する人間らしさと地球を共に守る責任を認識し、より良い、より平和な世界を築くことに貢献する人間を育てます。

**IBの学習者として、私たちは次の目標に向かって努力します。**

## 探究する人

私たちは、好奇心を育み、探究し研究するスキルを身につけます。ひとりで学んだり、他の人々と共に学んだりします。熱意をもって学び、学ぶ喜びを生涯を通じてもち続けます。

## 知識のある人

私たちは、概念的な理解を深めて活用し、幅広い分野の知識を探究します。地域社会やグローバル社会における重要な課題や考えに取り組みます。

## 考える人

私たちは、複雑な問題を分析し、責任ある行動をとるために、批判的かつ創造的に考えるスキルを活用します。率先して理性的で倫理的な判断を下します。

## コミュニケーションができる人

私たちは、複数の言語やさまざまな方法を用いて、自信をもって創造的に自分自身を表現します。他の人々や他の集団のものの見方に注意深く耳を傾け、効果的に協力し合います。

## 信念をもつ人

私たちは、誠実かつ正直に、公正な考えと強い正義感をもって行動します。そして、あらゆる人々がもつ尊厳と権利を尊重して行動します。私たちは、自分自身の行動とそれに伴う結果に責任をもちます。

## 心を開く人

私たちは、自己の文化と個人的な経験の真価を正しく受け止めると同時に、他の人々の価値観や伝統の真価もまた正しく受け止めます。多様な視点を求め、価値を見だし、その経験を糧に成長しようと努めます。

## 思いやりのある人

私たちは、思いやりと共感、そして尊重の精神を示します。人の役に立ち、他の人々の生活や私たちを取り巻く世界を良くするために行動します。

## 挑戦する人

私たちは、不確実な事態に対し、熟慮と決断力をもって向き合います。ひとりで、または協力して新しい考えや方法を探究します。挑戦と変化に機知に富んだ方法で快活に取り組みます。

## バランスのとれた人

私たちは、自分自身や他の人々の幸福にとって、私たちの生を構成する知性、身体、心のバランスをとることが大切だと理解しています。また、私たちが他の人々や、私たちが住むこの世界と相互に依存していることを認識しています。

## 振り返りができる人

私たちは、世界について、そして自分の考えや経験について、深く考察します。自分自身の学びと成長を促すため、自分の長所と短所を理解するよう努めます。

この「IBの学習者像」は、IBワールドスクール（IB認定校）が価値を置く人間性を10の人物像として表しています。こうした人物像は、個人や集団が地域社会や国、そしてグローバルなコミュニティの責任ある一員となることに資すると私たちは信じています。





# 目次

<b>はじめに</b>	<b>1</b>
本資料の目的	1
ディプロマプログラムとは	2
科学の本質（NOS）	7
「物理」の学習	17
ねらい	24
評価目標	25
<b>シラバス</b>	<b>26</b>
シラバスの概要	26
「物理」の指導の方法	27
シラバスの内容	32
<b>評価</b>	<b>132</b>
ディプロマプログラムにおける評価	132
評価の概要——標準レベル（SL）	135
評価の概要——上級レベル（HL）	136
外部評価	137
内部評価	139
グループ4プロジェクト	154
<b>付録</b>	<b>160</b>
指示用語の解説	160
参考文献	164



## 本資料の目的

本資料は、「物理」を学校で計画、指導、評価するための手引きです。「物理」の担当教師を対象としていますが、生徒や保護者に「物理」について説明する際にも、ご活用ください。

本資料は、オンラインカリキュラムセンター（OCC）の教科のページで入手できます。OCC（<http://occ.ibo.org>）は、パスワードで保護されたIBのウェブサイトで、IBの教師をサポートする情報源です。また、本資料はIBストア（<http://store.ibo.org>）で購入することもできます。

## その他のリソース

教師用参考資料や科目レポート、内部評価のガイダンス、評価規準の説明といったその他のリソースも、OCCで取り扱っています。過去の試験問題とマークスキームはIBストアで取り扱っています。

OCCでは、他の教師が作成したり、活用している教育リソースについて情報を得ることができますので、ご活用ください。教師たちによりウェブサイトや本、ビデオ、定期刊行物、指導案などの役立つリソースも提供されています。

## 謝辞

IBは、本資料を作成するにあたり、時間やリソースを惜しみなく提供して下さった教育関係者や提携校の皆様に感謝の意を表します。

2016年 第1回評価

## ディプロマプログラムとは

ディプロマプログラム（DP）は16歳から19歳までの大学入学前の生徒を対象とした、綿密に組み立てられた教育プログラムです。幅広い分野を学習する2年間のプログラムで、知識豊かで探究心に富み、思いやりと共感する力のある人間を育成することを目的としています。また、多様な文化の理解と開かれた心の育成に力を入れており、さまざまな視点を尊重し、評価するために必要な態度を育むことを目指しています。

### DPのプログラムモデル

DPは、6つの<sup>グループ</sup>教科が中心となる核（「コア」）を取り囲んだ形のモデル図で示すことができます（図1参照）。DPでは、幅広い学習分野を同時並行して学ぶのが特徴で、生徒は「言語と文学」（グループ1）と「言語の習得」（グループ2）で現代言語を計2言語（または現代言語と古典言語を1言語ずつ）、「個人と社会」（グループ3）から人文または社会科学を1科目、「理科」（グループ4）から1科目、「数学」（グループ5）から1科目、そして「芸術」（グループ6）から1科目を履修します。多岐にわたる分野を学習するため、学習量が多く、大学入学に向けて効果的に準備できるようになっています。生徒は各教科から柔軟に科目を選択できるため、特に興味のある科目や、大学で専攻したいと考えている分野の科目を選ぶことができます。



図1

DPのプログラムモデル

## 科目の選択

生徒は、6つの教科からそれぞれ1科目を選択します。ただし、「芸術」から1科目選ぶ代わりに、他の教科で2科目選択することもできます。通常3科目（最大4科目）を上級レベル（HL）、その他を標準レベル（SL）で履修します。IBでは、HL科目の学習に240時間、SL科目の学習に150時間を割りあてることを推奨しています。HL科目はSL科目よりも幅広い内容を深く学習します。

いずれのレベルにおいても、さまざまなスキルを身につけますが、特に批判的<sup>クリティカル</sup>な思考と分析に重点を置いています。各科目の修了時に、学校外で実施されるIBによる外部評価で生徒の学力を評価します。また、多くの科目で、科目を担当する教師が評価する課題（コースワーク）を課しています。

## プログラムモデルの「コア」

DPで学ぶすべての生徒は、プログラムモデルの「コア」を形づくる次の3つの必修要件を履修します。「知の理論」（TOK：theory of knowledge）では、批判的<sup>クリティカルシンキング</sup>思考に取り組みます。具体的な知識について学習するのではなく、知るプロセスを探究するコースです。「知識の本質」について考え、私たちが「知っている」と主張することを、いったいどのようにして知るのかを考察します。具体的には、「知識に関する主張」を分析し、知識の構築に関する問いを探究するよう生徒に働きかけていきます。TOKの目的は、共有された「知識の領域」の間のつながりを重視し、それを「個人的な知識」に結びつけることで、生徒が自分なりのものの見方や、他人との違いを自覚できるよう促していくことにあります。

「創造性・活動・奉仕」（CAS：creativity, action, service）は、DPの中核です。「IBの使命」や「IBの学習者像」の倫理原則に沿って、生徒が自分自身のアイデンティティを構築するのを後押しします。CASでは、DPの期間を通じて、アカデミックな学習と同時並行して多岐にわたる活動を行います。CASは、創造的思考を伴う芸術などの活動に取り組む「創造性」（creativity）、健康的なライフスタイルの実践を促す身体的活動としての「活動」（action）、学習に有益であり、かつ無報酬で自発的な交流活動を行う「奉仕」（service）の3つの要素で構成されています。CASは、DPを構成する他のどの要素よりも、「多様な文化の理解と尊重の精神を通じて、より良い、より平和な世界を築く」という「IBの使命」に貢献しているといえるかもしれません。

「課題論文」（EE：extended essay）では、生徒は、関心のあるトピックの個人研究に取り組み、研究成果を4000語（日本語の場合は8000字）の論文にまとめます。EEには、世界を対象に学際的な研究を行う「ワールドスタディーズ」として執筆されるものも含まれます。生徒は、履修しているDP科目から1科目（「ワールドスタディーズ」の場合は2科目）を選び、対象とする研究分野を定めます。また、EEを通じて大学で必要とされるリサーチスキルや記述力を身につけます。研究は、正式な書式で構成された論文に

まとめ、選択した科目にふさわしい論理的で一貫した形式で、アイデアや研究結果を伝えます。高いレベルの研究スキル、記述力、創造性を育成し、知的発見を促すことを目的としており、担当教員の指導のもと、生徒が、自分自身で選択したトピックに関する研究に自立的に取り組む機会となっています。

## 「指導の方法」と「学習の方法」

D P での「指導の方法」(approaches to teaching) と「学習の方法」(approaches to learning) は、熟慮された戦略やスキル、態度として、指導や学習の場に浸透しています。「指導の方法」も「学習の方法」も、「I Bの学習者像」に示されている人物像と本質的に関連しています。そして、生徒の学習の質を高めると同時に、D Pの最終評価やその先の学びのための礎をつくります。D Pでの「指導の方法」と「学習の方法」には、次のようなねらいがあります。

- ・ 学習内容を教えるだけでなく、学習者を導く存在としての教師のあり方を支援する。
- ・ 生徒の有意義で体系的な探究と、批判的思考や創造的思考を促すため、教師がファシリテーターとしてより効果的な戦略を立てられるよう支援する。
- ・ 各教科のねらい(科目別に掲げる目標以上のもの)と、それぞれの知識の関連づけ(同時並行的な学習)の両方を推進する。
- ・ 生徒が卒業後も積極的に学び続けるために、さまざまなスキルを系統的に身につけるよう奨励する。また生徒が良い成績を得て大学に進学できるよう支援すると同時に、大学在学中の学業の成就や卒業後の成功に向けて準備する。
- ・ D Pでの生徒の体験の一貫性と関連性をよりいっそう高める。
- ・ 理想主義と実用主義が融合したD Pの教育ならではの本質に対して、学校の理解を促進する。

5つの「学習の方法」(思考スキル、社会性スキル、コミュニケーションスキル、自己管理スキル、研究スキルの各スキルを高める)と、6つの「指導の方法」(探究を基盤とした指導、概念に重点を置く指導、文脈化された指導、協働に基づく指導、生徒の多様性に応じて差別化した指導、評価を取り入れた指導)には、I Bの教育を支える重要な価値観と原則が含まれています。

## 「I Bの使命」と「I Bの学習者像」

D Pでは、「I Bの使命」と「I Bの学習者像」に示された目的の達成に向かって、生徒たちが必要な知識やスキル、態度を身につけられるよう働きかけます。D Pにおける「指導」と「学習」は、I Bの教育理念を日々の実践において具現化したものです。

## 学問的誠実性

D Pにおける「学問的誠実性」(academic honesty)は、「I Bの学習者像」の人物像を通じて示されている価値観と振る舞いに則しています。学問的誠実性は、指導、学習、そして評価において、各自が誠実で公正であることを促し、他人とその成果物の権利を尊重することを奨励します。また、すべての生徒は学習を通じて身につけた知識や能力を示す機会を等しく得ることが保証されています。

評価のための課題(コースワーク)を含むすべての学習成果物は生徒本人が取り組んだものでなければなりません。学習成果物は生徒自身の独自のアイデアに基づくものであり、他人のアイデアや成果物を用いる場合は出典を明示しなければなりません。教師が課題について生徒に指導する場合や、生徒同士の協働作業を要する評価課題に取り組む際には、必ず、I Bが定めるその教科のためのガイドラインを順守しなければなりません。

I BおよびD Pにおける学問的誠実性について、より詳しくはI B資料『学問的誠実性』、『D P：原則から実践へ』、および同(英語版)『*General regulations: Diploma Programme* (総則：D P編)』を参照してください。D P科目の学校外で実施されるI Bによる外部評価(external assessment)と学校内の教師が評価を手がける内部評価(internal assessment)に関連する学問的誠実性の情報は、本資料の中にも記載されています。

## 出典を明らかにする

国際バカロレア<sup>ディプロマ</sup>資格(I B資格)取得志願者は、I Bに提出する評価課題で引用した情報の出典をすべて明らかにしなければなりません。コーディネーターと教師は、このことに留意する必要があります。以下にこの要件について説明します。

I B資格取得志願者は、さまざまな媒体を用いた評価課題をI Bに提出します。その中には、出版物または電子情報として公表された視聴覚資料、文章、図表、画像、データなどの引用が含まれている場合があります。志願者は、他人の成果物やアイデアを用いる場合、参考文献目録の書式として標準的とされる一定の書式に従い、出典を明示しなければなりません。志願者が出典の明示を怠った場合、I Bは規則違反の可能性があると調査を行います。場合によっては、I B最終資格授与委員会(IB final award committee)による処分の対象となります。

I Bは志願者が用いる参考文献目録や本文中の引用の書式については指定せず、志願者の学校の担当者または教師に判断を委ねています。幅広い科目を提供していることや、英語、フランス語、スペイン語の3言語に対応していること、そして多様な参考文献目録の書式があることから、特定の書式を要求することは非合理的かつ制限的です。実際には、ある特定の書式が最も頻繁に使われるかもしれませんが、学校はその科目と使用言語に適した書式を自由に選ぶことができます。その科目のために学校が選ぶ参考文献目録の書式にかかわらず、著者名、発行日、書名、ページ番号などの最低限の情報は明記する必要があります。

志願者は標準的とされる書式を用い、言い換えや要約を含むすべての参考資料の出典を一貫した書式で明示することが求められます。文章執筆の際、生徒は引用符（または、字下げなどのその他の方法）を用いて自分自身の言葉と他人の言葉を明確に区別し、適切な形で引用を示して参考文献目録に明記してください。電子情報を引用した場合、参考文献目録にアクセス日を明記してください。志願者に期待されているのは、参考文献目録の作成の完璧さではありません。すべての出典を明らかに示すことが求められているのです。志願者は、自分自身のものではない出版物や電子情報として公表された視聴覚資料、文章、図表、画像、データなどもすべて出典を明らかにするように必ず指導を受けなければなりません。この場合も参照・引用の適切な書式を用いてください。

## 学習の多様性と学習支援の必要な生徒への取り組み

I B資格取得志願者で学習支援を必要とする生徒に対して、学校は平等に評価を受けるための配慮と適切な調整を行わなければなりません。配慮や調整は、I B資料『受験上の配慮の必要な志願者について』および同（英語版）『*Learning diversity in the International Baccalaureate programmes: Special educational needs within the IB programmes*（I B教育と学習の多様性：I Bプログラムにおける特別な教育的ニーズ）』に沿って行わなければなりません。



## 科学の本質（NOS）

「科学の本質」（NOS：nature of science）とは、「生物」「化学」「物理」の各科目に共通するテーマです。そのため「生物」「化学」「物理」のいずれの「指導の手引き」にも「科学の本質（NOS）」と題したセクションが設けられています。「科学の本質とは何か」を教師が理解するための参考としてください。本セクションでは、21世紀における「科学の本質」とは何かを包括的に説明します。ただし、指導または評価に関して、上記3科目のテーマすべてを詳細に取り上げることはしていません。

「科学の本質」の各段落には、1.1、1.2などの番号がつけられています。シラバス（横長のページ）には、サブトピックごとに『科学の本質』（NOS）との関わり」の欄があり、関連する段落の番号と要点が明記されています。また、どのように「科学の本質」を捉え、学習内容と結びつけるかの例も示されています。具体的には、各サブトピックで取り組む「理解」「知識・スキルの活用」と、1つあるいは複数の「科学の本質」のテーマを関連づける方法を説明しています。本セクションに挙げる「科学の本質」の記述を単に繰り返したものではありません。あくまでも具体的な文脈に「科学の本質」を位置づけています。詳細は、「シラバスのフォーマット」の項を参照してください。

### 技術について

「科学の本質」を取り上げるにあたって、「<sup>テクノロジー</sup>技術」という用語をどのように解釈するかは重要です。また、科学から派生し、科学に貢献する技術というものの役割も明確にしなければなりません。今日の世界では、「科学」と「技術」という用語は、あたかも同義語のように用いられていますが、歴史的には「科学」と「技術」は必ずしも同じではありませんでした。技術が生まれたのは、科学よりも前のことです。「なぜ物質には、多様な目的に利用できる、さまざまな性質があるのか」ということが理解されるずっと以前から、人々は物質を用いて、役に立つ、装飾的な人工物をつくり出してきました。一方、現代社会では、その関係は逆転し、根本的な科学の理解が、技術的な発展の基礎になっています。そして、生み出された新しい技術が、今度は科学の発展の推進力となるのです。

科学と技術は、相互に依存し合いながらも、それぞれ異なる価値観に基づいています。科学が、<sup>エビデンス</sup>証拠と合理性、より深い理解の追求を重視する一方で、技術は、実用性と妥当性、役立つものかどうかに価値を置いています。また、技術では、持続可能性に力点を置くことが、ますます重要になってきています。

## 1. 科学とは何か・科学的試みとは何か

- 1.1. 科学は、「万物には、人間の感覚で認識でき、人間の理性で理解できる、自律的な外的現実性がある」ということを基本的な前提としています。
- 1.2. 純粋科学は、この万物について共通の理解に至ることを目的としています。応用科学や工学は、新しい方法や製品につながる技術を開発します。ただし、これらの領域間の境界は曖昧です。
- 1.3. 科学者は、幅広いさまざまな方法を組み合わせて、科学のプロセスをつくり上げています。「科学的方法」は1つではありません。科学者は、その知見や考えを構築するために、その時々に応じてさまざまな方法を用いてきました。また、それは今日も同様です。科学者は、そうしたさまざまな方法について、どのようなことが科学的に妥当であるかについての共通理解をもっています。
- 1.4. 科学は、刺激のかつチャレンジに満ちた冒険です。多大な創造性と想像力、そして厳格で、きめ細かな思考と知識の活用を必要とします。科学者は、予期せぬ、驚くべき、偶発的な発見にも備えなければなりません。科学の歴史は、そのようなことが非常によく起こるということを示しています。
- 1.5. 多くの科学的発見は、直観のひらめきを伴います。また発見の多くは、特定の現象に関する推測、または単純な好奇心に端を発しています。
- 1.6. 科学者は、共通の専門用語と共通の推論のプロセスを用います。そのプロセスとは、類推と一般化を用いた演繹的推論と帰納的推論を指します。また、科学者は、科学における言語として「数学」という強力な道具を共有しています。実際に、いくつかの科学的な説明は、数学的な形式でのみ存在しています。
- 1.7. 科学者は、主張に対して懐疑的な態度をとらなければなりません。科学者がすべてを信じないということではありません。主張の真偽を信じるに足る根拠を得るまでは、判断を保留するということです。こうした根拠は、<sup>エビデンス</sup>証拠と議論に基づきます。
- 1.8. <sup>エビデンス</sup>証拠が重要であるということは、根本的な共通理解です。<sup>エビデンス</sup>証拠は、観察または実験によって得ることができます。<sup>エビデンス</sup>証拠は、人間の感覚（主として視覚）を通じて収集しますが、非常に小さいものや非常に遠い場所、あるいは人間の感覚では知覚できない現代科学の領域では、遠隔操作および自動で情報を収集できる設備やセンサーを用いています。改良された設備や新技術が、しばしば新しい発見への推進力になってきました。また、観察とそれに続く分析および推論が、宇宙の起源に関するビッグバン理論や、自然選択による進化の理論につながりました。これらの理論の場合には、コントロールされた実験を行うことは不可能です。地質学や天文学などの領域は、フィールドでのデータ収集に強く依存していますが、一方で、どの領域でも、<sup>エビデンス</sup>証拠を収集するために、ある程度の観察を行うといえます。<sup>エビデンス</sup>証拠を得る別の方法としては、コントロールされた環境での実験（一般的には実験室での実験）が挙げられます。データの形で<sup>エビデンス</sup>証拠を得るのです。どのよう

に実験を遂行するべきかについては、さまざまな約束事や踏まえなければならない了解事項があります。

1. 9. このようにして得た証拠<sup>エビデンス</sup>は、理論を展開したり、データから一般化して法則をつくったり、仮説を提案したりするために用いられます。そして、これらの理論と仮説は、検証可能な予測を立てるために用いられます。こうして理論は支持されたり、反対されたりするほか、修正されたり、新しい理論に置き換えられたりします。
1. 10. モデルには、単純なものもあれば、非常に複雑なものもあります。モデルは、理論的な理解に基づいており、観察できないようなプロセスの説明のために開発されるものです。コンピューターによる数理モデルは、検証可能な予測を立てるために用いられ、実験できない場合に特に役立ちます。実験または観察データによって検証された結果、モデルが不适当であると証明されるかもしれません。その場合、そのモデルは、修正されたり、新しいモデルに置き換えられたりします。
1. 11. 実験結果、モデルの構築によって得られた洞察、および自然界の観察結果は、主張のためのさらなる証拠<sup>エビデンス</sup>として用いることができます。
1. 12. コンピューターの情報処理能力の向上は、モデルの構築力を高めました。現在、モデル（通常は数理モデル）は、実験が不可能である場合に（時には可能である場合にも）新しい理解を引き出すために用いられています。大量のデータ、大量の変数と複雑で長い計算を伴う複雑な状況に関する動的モデルの構築は、コンピューターの情報処理能力が向上した結果、可能になりました。例えば、地球の気候に関するモデルの構築は、将来の気候条件の幅広い予測を行うために用いられます。さまざまな異なるモデルが開発され、どのモデルが最も正確であるかを調べるために、各種モデルによる結果が比較されてきました。時には、過去のデータを用いてモデルを検証し、現在の状況を予測することができるかどうかを調べることもできます。こうした検証で通用したモデルは、正確さにおいて信頼を得るのです。
1. 13. 科学の考え方とプロセスはいずれも、人的な背景があってはじめて生じ得るものです。科学には、多様な背景や伝統をもった人々が関わってきました。その多様性は、各時代における科学の進歩に明らかに影響をもたらしました。一方で、科学に従事するということは、ある共通した原理、方法論、理解およびプロセスをもった探究のコミュニティーに関わることであり、理解するのが重要です。

## 2. 科学の理解

2. 1 科学者は、「理論」「法則」「仮説」という概念を用います。これらの概念は関連していますが、いずれか1つの概念から別の概念へと発展するというものではありません。これらの用語は、科学において特別な意味をもっており、日常的に使う用語とは区別することが重要です。

- 2.2. 「理論」は、万物、または万物の一部がどのように機能しているかを示す統合的かつ包括的なモデルです。理論は、事実、法則、および検証された仮説を組み込むことができます。理論から予測を立て、それを実験、または注意深い観察によって検証することができます。病原体の細菌理論や原子理論がその例です。
- 2.3. 理論は、一般に、他の理論の仮定および前提と矛盾することなく、幅広い現象や学問領域にあてはまる一貫した理解を打ち立てます。一方で、新しい理論が基本概念の理解や枠組みを根本的に変化させ、他の理論に影響を与え、時として科学における「パラダイムシフト」と呼ばれるものを引き起こす場合もあります。科学において最も有名なパラダイムシフトの1つは、アインシュタインの相対性理論です。相対性理論によって、私たちの時間の概念は、絶対座標系から観測者に依存した座標系へと変化しました。ダーウィンの自然選択による進化論も、地球上の生物に関する私たちの理解を変化させました。
- 2.4. 「法則」は、挙動の規則的なパターンの観察から導き出された詳述的、規範的な記述です。一般的には、数学的な形式をとり、結果を計算し、予測を行うために用いることができます。理論や仮説とは異なり、法則は証明することができません。科学的な法則は、例外がある可能性もあり、また、新しい<sup>エビデンス</sup>証拠に基づいて修正されたり、却下されたりすることもあります。法則は、必ずしも現象を説明する必要はありません。例えば、ニュートンの万有引力の法則によると、2つの物体の間の力は、それらの間の距離の2乗に反比例するため、それに基づいて任意の距離だけ離れた物体間の力を計算することができますが、「物体がなぜ互いに引きつけ合うのか」については説明されていません。なお、「法則」という用語は、科学においてはさまざまな使われ方をしてきたので、特定の概念を「法則」と呼ぶか否かは、法則が発見された学問領域および時代によって決まる場合があることに注意してください。
- 2.5. 科学者は、時として「仮説」を立てます。仮説とは、世界に関する説明で、真または偽であり得るものです。また、多くの場合、仮説は要素間の因果関係または相関関係を説明します。仮説は、実験または自然界の観察によって検証され、支持される場合もあれば、反対される場合もあります。
- 2.6. ある考え（例えば、理論または仮説）が「科学的」であるためには、その考えは、自然界および自然についての説明に焦点をあてたものでなければなりません。また、検証可能であることも条件となります。科学者は、一般に認められている原理と矛盾せず、既存の考え方を単純化して統一する仮説や理論を構築することに努めています。
- 2.7. 「オッカムの剃刀」の原理は、理論を構築する際の指針とされています。理論は、説明能力を最大化しつつ、できる限り単純であるべきです。
- 2.8. 「相関関係」と「因果関係」という考え方は、科学において非常に重要です。相関関係は、ある変数と別の変数の間の統計的な関連性のことです。正の相関または負の相関があり、+1、0、-1の間の値をもつ相関係数を計算することができます。

ます。ある要素と別の要素の間の（正または負の）強い相関関係は、2つの要素の間のある種の因果関係を示唆しますが、科学者が「因果関係がある」と認めるまでには、たいていの場合、多くの証拠<sup>エビデンス</sup>を必要とします。因果関係（ある要素が別の要素の原因となっていること）を確立するには、科学者は、それらの要素を結びつける妥当な科学的体系を必要とします。科学的体系は、喫煙と肺がんの関係の例のように、一方が他方の原因となるという事例を裏づけます。科学的体系は、実験によって検証可能です。

- 2.9. ある要素と別の要素との間の関係性を調べるには、それ以外のすべての要素の設定をコントロールした状態で実験することが理想的です。ただし、いつもそのような実験ができるわけではありません。科学者（特に生物学者や医学者）は、実験（二重盲検法や治験など）が不可能な場合に、サンプリング、疫学のコホート研究、および症例対照研究によって、因果関係への裏づけを強化します。医学分野の疫学では、確立された科学的知識がほとんどない場合や、状況を完全にコントロールするのが困難な場合に、データの統計分析を用いて相関関係の有無の可能性を検討します。このような場合には、他の分野と同様に、確率論による数学的分析が役立ちます。

### 3. 科学の客観性

- 3.1. データは、科学者に不可欠なものです。データには、定性的データと定量的データがあります。データは、純粋な観察から得る場合もあれば、電子センサーを使った遠隔実験や直接的な測定による特定の実験から得る場合もあります。正確かつ的確な記述や予測を行うには、通常、定量的で数理解析が可能なデータが最も適しています。科学者は、データを解析し、パターン、傾向、矛盾を探し出して、関係性を発見し、因果関係を確立することを試みます。ただし、これは必ずしも可能とは限りません。したがって、観察結果や、銀河系や化石など対象物のタイプを同定して分類することは、今も科学研究の1つの重要な側面です。
- 3.2. 反復測定を行い、大量の測定値を集めることは、収集データの信頼性を向上させます。データは、例えば、線形グラフや対数グラフなどのさまざまな形式で提示することができます。こうしたグラフを用いて、正比例または反比例、あるいは指数関係の解析をすることも可能です。
- 3.3. 科学者は、確率的誤差および系統誤差に注意し、グラフ上のエラーバーおよび回歸線などの手法を用いて、データをできる限り現実的かつ誠実に表現しなければなりません。データの外れ値を却下すべきか否かを検討する必要があります。
- 3.4. 科学者は、誤差と不確かさ、正確度と精度の間の違いを理解する必要があります。また、平均、平均値、最頻値、中央値などの数学的概念を理解して活用することも必要です。標準偏差、およびカイ二乗検定などの統計的手法は、よく用いられます。また、結果がどの程度、正確であるかを評価できることは重要です。さま

さまざまな状況下でどの手法が適切であるかを決定できるようになることは、科学者としての訓練および身につけるべきスキルの重要な部分です。

- 3.5. 実験計画と解釈に影響を与え得る「認知バイアス」に注意することも、科学者としてきわめて重要です。例えば、「確証バイアス」は、予期していないデータや、期待や要求に従わないデータを却下し、期待や要求と一致するデータを受け入れる理由を探そうと駆り立てる認知バイアスで、よく知られています。科学のプロセスおよび方法論は、概して、先入観によるこれらのバイアスを考慮するように設計されています。しかし、こうしたバイアスの影響を受けることのないよう常に注意をしなければなりません。
- 3.6. 科学者は、結果または発見を確実に「正しい」とすることはできません。一方で、私たちは、一部の科学的成果が「確実」に非常に近いものであることを知っています。科学者は、結果について議論する時に「信頼度」について話すことが少なくありません。ヒッグス粒子の存在の発見は、このような「信頼度」に関連する一例です。この粒子は、決して直接的に観察できません。したがって、その粒子の「存在」を確定するにあたって、素粒子物理学者は「発見」と見なすための自主的な定義である「5シグマの確かさ」——ヒッグス粒子が存在しないにもかかわらず、偶然、そのように示す実験結果を得る確率が0.00003%であるという基準——をクリアしなければなりませんでした。
- 3.7. 近年、コンピューターの情報処理能力、センサー技術、およびネットワークの発達により、科学者は大量のデータを収集できるようになりました。地球観測衛星や宇宙探査機など多くのデータ源からは、絶えず大量のデータがダウンロードされています。また、遺伝子シーケンサーでは、大量のデータが生成されています。欧州原子核研究機構 (CERN) の大型ハドロン衝突型加速器による実験では、1秒間に23ペタバイトのデータが定期的に生成されています。これは、1秒間に、高解像度のテレビ番組の13.3年分に匹敵する量のデータが生成されている計算になります。
- 3.8. 研究では、データベースに収録されたこの大量のデータを解析して、パターンと固有の事象を探し出します。解析には一般的に、研究に参加している科学者が作成したソフトウェアが用いられます。データとソフトウェアは、科学的成果とともに公表されない場合もありますが、通常は他の研究者が利用できるようになっています。

## 4. 科学の人間的な側面

- 4.1. 科学は、<sup>コラボレーション</sup>協働の要素の多い営みです。科学のコミュニティは、科学、工学、技術に従事する人々で構成されています。研究は、共通のゴールに向けて、さまざまな専門分野や専門性による貢献が得られるように、1つの科学分野にとどまらず、多くの学問領域の研究者から成るチームで行うのが一般的です。問題を1つの学問領

域のパラダイムの枠組みにのみあてはめた場合、得られる解決策の可能性は限定されます。さまざまな観点をを用いて問題の枠組みをつくり、新たな解決策の可能性を見いだすことが、きわめて有効な場合があるのです。

- 4.2. こうしたチームワークは、「科学とは、心を開いて物事を受け入れる精神に富み、地域や文化、政治、国籍、年齢や性別から独立した存在である」という共通理解のもとに形成されます。科学の世界では、情報や考え方が世界規模で自由に交換されます。もちろん、個々の科学者は人間であり、偏見や先入観をもっていることもあります。科学の制度、実践、方法論が、科学的な試みを全体として偏見のないものに保つことに役立っています。
- 4.3. 科学者は、成果を交換することで協力し合うと同時に、学問領域、研究室、組織、国の中や、それらをつなぐ形で形成される大小の規模の研究グループで日々、協働しています。また、そうした協働は、インターネット上のコミュニケーションによってますます促進されています。以下は、大規模な協働の例です。

- マンハッタン計画。原子爆弾の製造とテストを目的とし、最終的には13万人以上を雇用。複数の製造研究拠点を設置し、秘密裏に運営しました。広島と長崎に2つの原子爆弾を投下するに至りました。
- ヒトゲノム計画 (HGP)。ヒトゲノムのマッピングのために立ち上げられた国際的な科学研究プロジェクト。1990年に30億ドルのプロジェクトが始まり、2000年にはゲノムの概要配列がつくられました。DNAの配列は、インターネット上の誰でも利用できるデータベースに収録されています。
- 気候変動に関する政府間パネル (IPCC)。国連によって組織され、公式にはおよそ2500人の科学者で構成されています。世界中のさらに多くの科学者の研究をまとめた報告書を作成しています。
- 欧州原子核研究機構 (CERN) は、1954年に設立された国際機関で世界最大の素粒子物理学研究所。研究所はジュネーブにあります。およそ2400人を雇用し、100カ国以上、600以上の大学や研究機関に在籍する1万人の科学者や技術者と成果を共有しています。

上記の例は、いずれも賛否両論があり、科学者や一般の人々のさまざまな感情を喚起してきました。

- 4.4. 科学者は、他の科学者の発表した成果を読むのに、かなりの時間を費やしています。科学者は、査読と呼ばれるプロセスを経て、科学雑誌に自らの成果を発表します。査読では、同じ分野で研究している何人かの科学者が匿名かつ別々に、その科学者（より一般的には複数の科学者から成るチーム）の研究を審査します。研究方法が妥当であるか否か、およびその研究がその分野の知識に新たな貢献をもたらすか否かの判定するのです。また、科学者は学会に参加して、研究の口頭発表やポスター発表を行います。査読制度のある学術誌の掲載論文がインターネット上で公開されるようになったことで、科学文献を効率よく検索して見つけ

ることができるようになりました。専門領域の研究に従事する科学者のための組織は、国内組織、国際組織ともに数多くあります。

- 4.5. 科学者は、倫理的、政治的に重要な意味をもつ領域で研究を行ったり、知見を生み出したりすることが少なくありません。たとえば、クローニング、食品や生物の遺伝子組み換え技術、幹細胞および生殖技術、原子力、兵器開発（核、化学、生物兵器）、組織および器官の移植、動物実験を含む領域などが例として挙げられます（IB資料『*IB animal experimentation policy*（IBの動物実験に関する方針）』を参照）。知的財産権と社会に重大な影響を与え得る情報を自由に交換することに関する問題もあります。科学には、大学や企業のほか、政府機関、防衛省庁、国際機関も取り組んでいます。特許や知的財産権の問題は、保護された環境で研究が行われる際に生じます。
- 4.6. データの不正のない誠実な提示が、科学においては最も重要です。結果を修正、操作、改ざんしてはなりません。学問的誠実性（*academic honesty*）を順守し、剽窃をしないためにも、すべての出典を明記し、援助や支援には適切な謝辞を記します。同僚による査読や科学コミュニティによる精査と懐疑的な姿勢も、誠実さを守るのに役立ちます。
- 4.7. あらゆる科学には、資金が必要です。資金源は、どのような種類の研究を行うかを方向づけます。政府や慈善団体からの資金提供が、直接的な受益者が明らかではない基礎研究に対して行われることがあるのに対して、企業からの資金提供は、多くの場合、特定の製品や技術を生み出すための応用研究に対して行われます。政治的、経済的要素が、しばしば資金提供の性質と程度を決定します。科学者は、研究助成金の申請に時間を費やし、研究の必要性を主張しなければならないことが少なくありません。
- 4.8. 科学は、多くの問題を解決し、人類の暮らしを向上させるために用いられてきました。一方で、倫理的に疑問のある科学利用や不本意な問題も招いています。公衆衛生の向上や安全な水の供給率の改善、病気予防や健康維持の促進により、死亡率は著しく低下しましたが、出生率は低下していないため、莫大な人口増加とともに、資源、エネルギー、食糧供給などの問題を引き起こしています。倫理的議論、リスク便益分析、リスク評価、予防原則はいずれも、科学が公共の利益に取り組む際の手法の一部です。

## 5. 科学的リテラシーと科学に対する一般の人々の理解

- 5.1. 科学的知見や課題について社会的な判断をする際には、科学の本質に対する理解が欠かせません。一般の人々は、どのように判断を下すのでしょうか。一般の人々がその科学について直接理解して判断することは可能でない場合もあるかもしれません。一方で、一般の人々が科学的プロセスに従っているかどうかに関し



て重要な問いを投げかけることは可能です。科学者には、その問いに答える役目があります。

- 5.2. 科学者は、特定の分野の専門家として、彼らが取り組む課題と知見を一般の人々に説明する立場にあります。自分の専門外では、科学的課題について他の人に助言する能力は一般の人々と大差ないかもしれません。ただし、科学のプロセスについての理解があることは、その科学者自身が個人的な決定したり、ある主張が科学的に信頼できるか否かについて一般の人々を教育する際に役立てることができます。
- 5.3. 科学的リテラシーには、科学者がどのように研究して考えるかを知ることだけでなく、誤った推論に気づく能力も含まれます。人々（科学者を含む）が影響を受けやすい推論の認知バイアスあるいは誤謬はたくさんあり、可能な限り正す必要があります。これらの例としては、「確証バイアス」のほか、少ない例から一般的な結論を導こうとする「早まった一般化」、前後関係と因果関係を混同する「前後即因果の誤謬」（虚偽の原因の誤謬）、相手の主張を歪め、論点をすり替えて反論する「<sup>ストローマン</sup>わら人形の虚偽」、途中で当初の目的を変えてしまう「ゴールポストの移動」（再定義）、「伝統に訴える論証」、「誤った権威」、および「根拠と見なされている逸話の集積」が挙げられます。
- 5.4. こうしたバイアスや誤謬が適切に取り扱われたり、訂正されたりしない場合、または、科学のプロセス、チェックおよびバランスが無視または誤用された場合、結果は「疑似科学」になります。疑似科学は、科学的であると主張しますが、適切な科学的方法論の基準を満たしておらず、その基準に準じていません。疑似科学とは、裏づけとなる根拠、あるいは理論的枠組みがなく、必ずしも検証可能ではないため反証可能であり、厳密ではない方法または不明瞭な方法で表現され、しばしば科学的検証によって支持できない信念や実践に対して用いられる用語です。
- 5.5. もう1つの重要な課題は、適切な用語の使用です。科学者が科学用語として合意している単語は、しばしば日常生活で別の意味をもつことがあるため、一般の人々も読む科学論文は、これを考慮する必要があります。例えば、「理論」は、慣用的には直観または憶測を意味しますが、科学において、受け入れられた「理論」とは、多くの異なる方法で十分に検証された予測を伴う科学的概念です。「エアロゾル」は、一般の人々にとってはただのスプレー缶を示す言葉ですが、科学においては、気体中に固体または液体粒子が浮かんだものを指しています。
- 5.6. いかなる科学の分野——基礎研究、応用研究、または新しい技術の工学分野——であっても、創造性と想像力に富んだ思考には限界がありません。科学は、これまでに多くを達成してきましたが、未来の科学者が取り組むべき、まだ答えの出ていない問題もたくさんあります。

以下のフローチャートは、「科学的な探究プロセス」の実践を示すインタラクティブなフローチャートの一部です。インタラクティブバージョンは、カリフォルニア大学古生物学博物館 (University of California Museum of Paleontology) のサイト (英語) 「How science works: The flowchart (科学の仕組み : フローチャート)」で見ることができます。アクセス日 : 2013年 2月 1日 <<http://undsci.berkeley.edu/article/scienceflowchart>>

[訳注] 上記サイトから日本語版のフローチャートをダウンロードできます。

## 科学はどのようにおこなわれているか

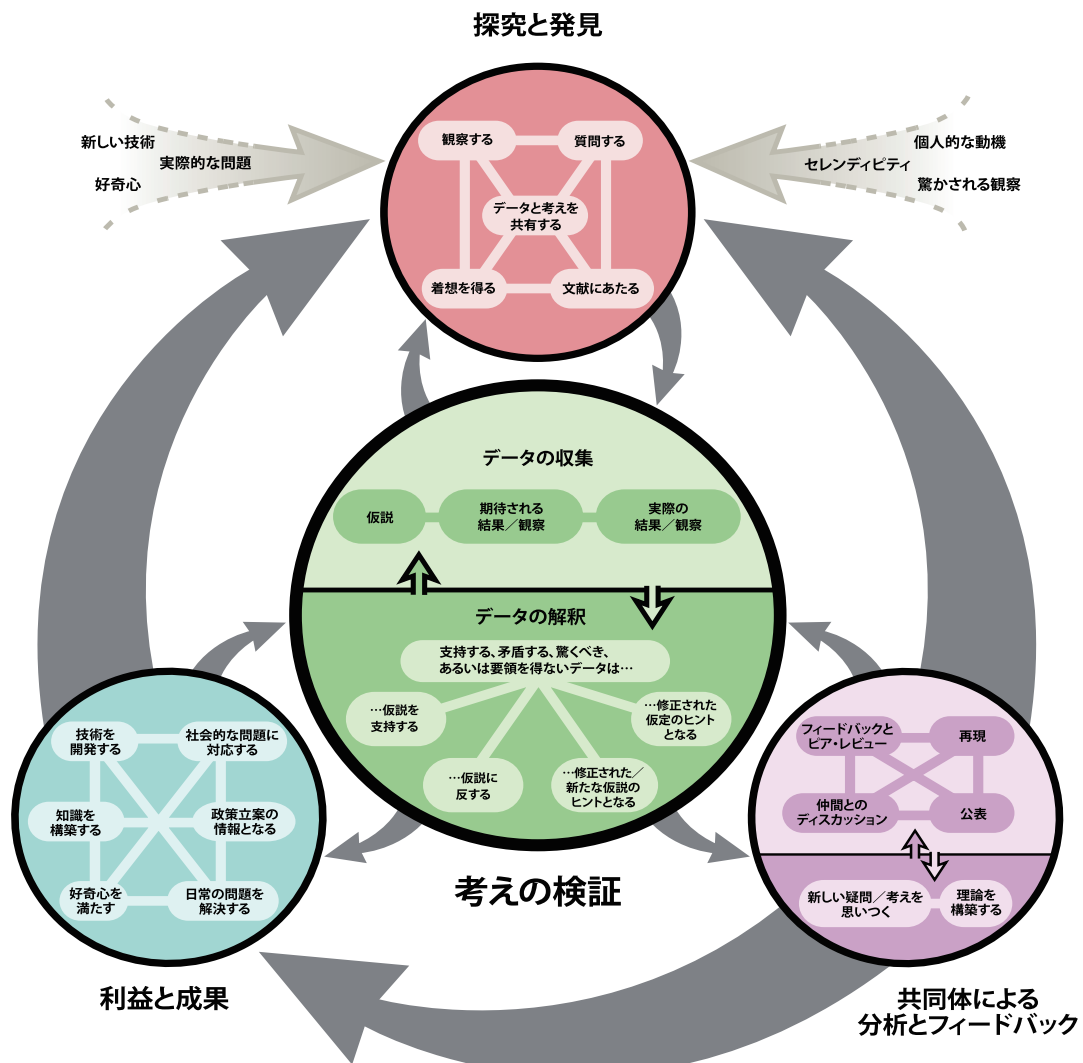


図 2

科学的発見への道筋

## 「物理」の学習

懐疑心と理性、自由と変革、熱意と美学、飛躍するイマジネーションと訓練された判断力など、相反するものが悩ましく混在しているのが物理学である。

レオン・マックス・レーダーマン（1988年ノーベル物理学賞受賞）

物理学は、物質の最も基本的な構成要素として現在考えられているクォークなどの素粒子からなる微小の世界から、銀河間に存在する広大な時空間のようなテーマまでを広範に扱う最も根源的な実験科学分野です。

ニュートン力学、電磁気学、および熱力学の支柱からなる古典物理学は、私たちの自然への理解を深めることに貢献しました。自然を決定論的に理解できるという考え方は、ニュートン力学に由来します。決定論者であるラプラスは、この世のすべての素粒子の位置と速度の初期条件がわかれば、その後の運動を完全に予測できると考えました。マクスウェルによる電磁気学は電荷のはたらきを説明し、光と電気を同じものとして統一しました。熱力学はエネルギーの移動を「温度差」と「仕事」という概念によって説明し、自然に起こるすべての過程は乱雑さが増える方向に進むことを説明しました。

ところが19世紀後半に現れ始めた数々の実験結果は、自然を完全に予測できるものとする古典的な世界観を覆していきます。原子のはたらきを説明することに失敗したニュートン力学は、量子力学や一般相対性理論によって置き換えられました。マクスウェルの理論は光と物質の相互作用をうまく説明できず、量子電磁力学（QED）によって置き換えられました。近年は、系の初期状態に微小な変化を与えることで結果がまったく予測不可能になることを示したカオス理論の発展などから、熱力学に関する根本的な理解にも変化が見られています。

カオス理論は、ラプラスの豪語が事実とそぐわないことを示しましたが、量子力学や量子電磁力学は、ラプラスが前提とした初期条件を知ることそのものが不可能ということも示しました。確実さは意味をもたず、すべては確率的に決まるということです。とはいえ、未解明な課題も数多く存在し、私たちの理解がより深くなるに伴い、パラダイムシフトは起こり続けることでしょう。

物理学の歴史は、奇抜で刺激に満ちたさまざまなアイデアの発展に彩られていますが、変化しない部分も存在します。ものごとを観測することは、物理学の中心として必要不可欠であり、観測の対象の選定には、想像力を超越することが必要となることも少なくありませんでした。物理モデルの多くは、すでに観測された現象を理解するためにつくられますが、モデルそのものが一般化され、後の観測結果を説明する理論となることもあり得ます。観測を説明することを直接の目的としない物理理論もしばしば生み出されます。この

ような創造的部分は、文学や音楽といった芸術的な分野に通じるところもあります。しかし科学分野として特有なのは、理論やアイデアが注意深い実験によって検証されるという点です。理論は、実験を通じた数値化による検証を経て、実証へとつながります。自然のはたらきについての一般的な仮説は、多様な現象を正しく説明することが実験により確認されることで、科学的な法則として認められるようになるのです。

科学の営み自体は、過去の高名な科学者が行ってきたもの、今日活躍する物理学者が行っているもの共に同様な活動であり、学校の生徒にとっても親しみやすいものです。科学の黎明期においては、物理学者は自然哲学者そのものであり、理論家であると同時に実験家でもありました。近年、科学知識の体系が膨大で複雑なものとなったため、理論と実験に必要な手段や訓練の細分化が進み、学者個人が両分野において同時に精通することは、ほぼ不可能となっています。生徒はこの現状を知るべきである一方で、公に開かれた科学論文を通して行われる理論的アイデアと実験的検証の自由で迅速なコミュニケーションが、両分野を固く結び続けていることも学ぶべきでしょう。

学校教育の段階では、理論と実験の両方を生徒自ら行い、実際の科学コミュニティーにおいて見られる、理論と実験がお互いを補いあう関係を自然に経験するべきでしょう。ディプロマプログラムの「物理」は、生徒に実用的なスキルを身につけると同時に、物理の共通言語として数学的な能力を培うこともねらいます。さらには、デジタル通信技術を含む、対人コミュニケーションの方法を身につけることもねらいます。これは近年の科学活動上必要不可欠であるばかりか、生徒個人がより豊かな一般生活を営んでいくことにも役立つ汎用的なスキルです。

「物理」を学ぶことで自然への理解が深まると同時に、多くの生徒は、私たちがもつ「世界を変える力」について理解することでしょう。この「世界を変える力」は、科学技術としての物理の一面です。物理法則を応用してものづくりをしたり、物質を変化させることで社会を豊かにしたり、物理の応用が私たちの日常生活に大きな影響を及ぼしていることからそのことが理解できます。同時に、物理のもたらす社会、経済、環境への強い影響、道徳や倫理におけるジレンマなど、懸念も存在します。このような社会問題は、人間活動が環境へ及ぼす影響が大きくなるにつれ、物理学者自身の行動に伴う責任の重要性を自明と考える人々、特に若者の間で広く認識されつつあります。

このように物理学はとりわけ人間的な活動なので、生徒は物理学者が活動する社会的文脈にも目を向けるべきでしょう。ともすれば成熟しきり、変化の余地のないテーマとして学習されやすい物理の知識やプロセスも、その発展の歴史を介すれば、ダイナミックな進歩の文脈で捉えることができます。これによって、生徒たちは、物理学の人間的側面、つまり、その個々人、その人間性、時代や社会的環境、彼らの挑戦、落胆と勝利について深く理解することができるでしょう。

ディプロマプログラムの「物理」は、物理学の基本を学習することはもちろん、生徒の必要に応じ、選択項目からある程度柔軟に授業を組み立てることができます。標準レベル（SL）と上級レベル（HL）があるため、大学で物理を専攻することを目指す生徒にも、そうでない生徒にも対応が可能です。

## 指導の方法

化学にはさまざまな指導の方法があります。化学という科目の性質上、実験を取り入れた指導のアプローチが適していますが、DPの「化学」では、科目全体を通じて実験を重視することが期待されます。

シラバスの編成順は、教えるべき順序では**ありません**。どのような順番で教えるかを決めるのは、教師に委ねられています。教師は、それぞれの状況に応じて、順序を決定します。選択項目は、必要に応じて、「SL・HL共通項目」(core) または「HL発展学習」(AHL : additional higher level) の項目の中で教えることもできます。また、独立した単元として教えることもできます。

## 科学とその国際的側面

科学は、国際的な取り組みです。国境をこえた情報やアイデアの交換が、科学の進歩を後押ししてきました。こうした情報やアイデアの交換は、とりわけ新しいことではありませんが、近年では、情報コミュニケーション技術 (ICT) の発展とともにその速度は加速しています。実際のところ、科学が「西洋の発明である」という考え方は「神話」にすぎません。現代科学の基礎の多くは、何世紀も前に、特にアラビアやインド、中国の文明などによって築かれました。教師は、さまざまなトピックを教えるにあたり、この貢献をウェブサイトの年表などを利用して強調することが推奨されています。最も広い意味での「科学的方法」とは、査読などの相互評価、開かれた心と自由な思考に重点を置き、政治的、宗教的な境界や、国境を超えるものです。「理科」(グループ4) の各科目の「指導の手引き」にある「シラバスの詳細」のセクションでは、特定のトピックの中で必要に応じて、科学の国際的側面との結びつきを説明しています。

現在、科学を推進するために多くの国際的な機関が存在しています。科学が重要な位置を占める国連教育科学文化機関 (ユネスコ)、国連環境計画 (UNEP)、世界気象機関 (WMO) などの国連機関が、よく知られていますが、さらに、分野別に何百もの国際的な機関があります。例えば、素粒子物理学やヒトゲノム計画など、大規模研究のための機関は費用がかかるため、共同事業として多くの国からの資金提供がなければ実現できません。そのような研究から得られたデータは、全世界の科学者の間で共有されます。教師と生徒は理科の指導および学習を通じて、こうした国際的な科学機関の充実したウェブサイトやデータベースにアクセスし、科学の国際的側面についての認識を高めることが奨励されています。

「科学的な問題の多くは、国際的なものである」という認識はますます高まっています。そうした認識が、多くの領域でのグローバルな研究アプローチにつながってきました。「気候変動に関する政府間パネル」の報告書が、その典型例です。教育実践のレベルでは、「グループ4プロジェクト」[DPの「理科」(グループ4) 科目を履修する生徒は

全員取り組まなければならない] で、地域をまたいだ学校間の協働を促進することで、本物の科学者の研究の営みを反映した取り組みを実現することができます。

科学的知識には、社会を変革する大きな力があります。科学的知識には、多大な普遍的利益を生み出す可能性もあれば、不平等を拡大し、人々と環境に害を引き起こす可能性もあります。「IBの使命」を踏まえ、生徒は理科の学習を通じて「科学者には、科学の知識やデータをすべての国々で公平に利用できるようにする道徳的責任と、持続可能な社会を発展させるよう知識やデータを用いることのできる科学的能力をもつ道徳的責任があること」を認識する必要があります。

教師は、生徒が「国際的な視野」との結びつきに関心をもつよう働きかけてください。「国際的な視野」に関連した事例が、シラバスのサブトピックの欄内に挙げられています。IBウェブサイト「Global engage (IB認定校でのグローバルな諸課題への取り組み)」(<http://globalengage.ibo.org>)にあるリソースを使うこともできます。

## 「標準レベル」と「上級レベル」の違い

「理科」(グループ4)では、標準レベル(SL)と上級レベル(HL)のいずれの生徒もシラバスの「SL・HL共通項目」と「内部評価課題」(IA: internal assessment)に取り組めます。また、選択項目によっては、両レベルに共通する要素があります。生徒はシラバスを通じて、本資料の「評価目標」のセクションで示されている特定のスキル、性質、態度を身につけます。

また、「理科」(グループ4)では、SLとHLのいずれも同じスキルと学習活動に取り組めます。ただし、HLでは「HL発展学習」の項目や共通の選択項目でいくつかのトピックをより深く学ぶことが求められます。SLとHLでは、学習の幅と深さが異なります。

## 事前の学習経験

これまでの経験から、生徒は、理科についての背景や事前の知識がなくても「理科」(グループ4)の各SL科目で実りある学習ができることがわかっています。「IBの学習者像」の人物像に特徴づけられた「<sup>アプローチ</sup>学習の方法」は、「理科」(グループ4)の学習では重要です。

一方、HLで「理科」(グループ4)の科目を履修することを考えている場合は、何らかの正規の理科教育を受けていることが必要です。ただし、これは「理科」(グループ4)の科目の履修を制限するものではありません。事前の学習が必要な具体的なトピックの詳細は明示していませんが、IB中等教育プログラム(MYP)に取り組んだ生徒、もしくは、国の教育課程で同等の理科を修了した資格をもつ生徒、または学校で正規の理科の科目を履修した生徒には、上級レベル(HL)科目に対する十分な備えがあるといえるでしょう。

## MYPとの接続

IB中等教育プログラム(MYP)の「理科」「デザイン」「数学」の科目に取り組んできた生徒は、「理科」(グループ4)の科目に対する十分な備えがあるといえるでしょう。MYPの「理科」とDPの「理科」(グループ4)の科目との間には整合性があるため、生徒にとってはプログラム間の円滑な移行が可能になります。DPの「理科」(グループ4)の各科目の新カリキュラムとMYPの新カリキュラム「ネクストチャプター」(ともに2014年に開始)の設計に同時並行的に取り組んだことは、緊密な整合性をもたせるのに役立ちました。

MYPでは、科学的探究が理科の「指導」と「学習」の中心となっています。生徒は科学的探究を通じて、考え方やスキルを身につけるとともに、知識を習得し、活用します。また、自信をもってDPの「理科」(グループ4)の内部評価課題に取り組むための力も養います。MYPの「理科」は、21世紀の学習者としての生徒の成長に貢献することをビジョンとして描いています。<sup>ホリスティック</sup>全人教育的な理科のプログラムによって、生徒は、探究に基づいた学習環境の中で、さまざまな認知能力、社会的スキル、個人的な動機づけ、概念的知識、問題解決能力を高め、活用することができます(Rhoton 2010)。探究は、調査と実験の両方を通じて、関連性のある諸課題について1人で、または協働して研究する機会を与え、生徒の理解を深めます。また、DPで「理科」(グループ4)の科目の履修に向けて、深い概念理解に根ざした科学的理解のための確固とした基盤を形成します。

MYPの教師は、<sup>プロフェッショナル</sup>専門的な見地から生徒の到達度を判断します。判断は厳密な評価規準に基づいて行われます。評価規準は、公開され、事前に周知されています。そうすることで、評価の透明性を確保しているのです。IBでは、このようなアプローチを「評価規準に基づいた評価」と説明しています。これは、生徒が相互に比較され、想定される到達度の分布の中で相対的に評価される「集団規準に準拠した評価」とも、設定された規準をすべて習得した場合にしか到達したと見なさない「到達度評価」とも異なる評価哲学に基づくものです。MYPでの評価(PYPおよびDPとも一貫している)の最も重要なねらいは、カリキュラムの目標を支え、生徒が適切な学習を行うよう促すことです。これを強調することは重要です。評価は、教科のねらいと目標に基づいているため、教科の要件となっている学習内容を効果的に教えることが、正規の評価で求められる内容を効果的に教えることにもなります。生徒は、期待される到達度、レベル、実践がどのようなものかを理解する必要があります。これらはすべて、指導の初期の段階で自然に伝えられなければなりません。また授業や宿題を通じて、伝えていきます。評価規準に基づいた評価の経験は、DPの「理科」(グループ4)で内部評価の要件を理解する際に大きく役立ちます。

MYPの「理科」は、概念駆動型のカリキュラムです。学習者が批判的思考の強化と知識の転移(transfer)を通じて意味を構築するのを助けることをねらいとしています。最上位には、幅広く、体系的で、有力な考えである「重要概念」(key concept)があり、その概念は、理科の分野の中だけでなく、教科の範囲をこえて、他の教科とも関連づけられています。これらの「重要概念」は、教科学習と学際的な学習の両方を促し、他の教

科とのつながりをつくります。「重要概念」が、幅広さを提供する一方で、MYPの「理科」における「関連概念」(related concept)は、プログラムに深さを追加します。「関連概念」は、単元の目的とも捉えることができ、単元の学習に焦点と深さをもたらし、生徒を概念的な理解へと導きます。

MYP全体では、16の「重要概念」があり、MYPの「理科」では、3つの概念が取り上げられています。

MYPカリキュラムの「重要概念」			
美しさ	<b>変化</b>	コミュニケーション	コミュニティー
つながり	創造性	文化	発展
形式	グローバルな相互作用	アイデンティティー	論理
ものの見方	<b>関係性</b>	<b>システム</b>	時間、場所、空間

またMYPの生徒はさらに、DPの「理科」(グループ4)の各科目のための準備として、概念を問う形式のコンピューター試験(選択制)に取り組むこともできます。

## 「理科」と「知の理論」

「知の理論」(TOK)(2015年第1回評価)では、知識の性質、そして、私たちが「知っている」と主張することについてどのように知るのかを、生徒に深く考えさせます。TOKでは「知るための方法」(ways of knowing)として、理性、感情、言語、知覚、直観、想像、信仰、記憶の8つを設定しており、生徒は、自然科学、ヒューマンサイエンス(人間科学)、芸術、倫理、歴史、数学、宗教的知識の体系、土着の知識の体系にわたるさまざまな知識分野の文脈で、知識を生み出しているこれらの「知るための方法」を探究します。また、TOKでは、さまざまな知識分野の間の比較を行うことを生徒に求めます。生徒は、さまざまな学問分野の中でどのように知識に到達するのか、学問分野に共通するものは何か、また異なっているものは何かを考察します。

理科の学習が、生徒のTOKでの学びを支えるのと同様に、TOKの授業も、理科の学習を支えます。TOKは、「ある学問分野が科学であることとは何を意味するのか」、「科学的知識の追求に倫理的制約があるべきか否か」などの問いについて、幅広い議論を促します。また、生徒が、科学の方法論について、そして、それが他の知識分野の方法論とどのように異なるのかについて考察する機会も提供します。厳密なポパーによる科学の定義の意味において科学的方法は1つではないということが現在では広く受け入れられています。その代わりに、科学は、自然界の挙動を説明するためにさまざまなアプローチを用いています。帰納的推論および演繹的推論を用いたり、証拠<sup>エビデンス</sup>を重視したりするなど、さまざま



な科学の学問分野には共通点が見られます。生徒は、これらの方法を、例えば、芸術や歴史に見られる方法と比較します。

このように、生徒はさまざまな機会を通じて、理科とTOKの間のつながりを見いだします。理科の教師は、理科ならではの文脈から生じる「知識に関する問い」(knowledge question) に生徒の関心を促すことで、生徒がTOKとのつながりを見いだすのを手助けすることができます。「知識に関する問い」は、知識についてのオープンな問い(自由回答形式の問い)であり、以下のような例を挙げることができます。

- ・ 科学と疑似科学をどのように見分けるか。
- ・ 実験を行うとき、科学者の予測と知見の間にはどのような関係性があるか。
- ・ 科学的知識はどのように発展するか。
- ・ 科学において想像力と直観の果たす役割は何か。
- ・ 自然科学とヒューマンサイエンス(人間科学)の方法の類似点と差異は何か。

本資料のシラバスのサブトピックの欄には、関連する「知識に関する問い」の例が記載されています。また、TOKの「指導の手引き」の「知識の領域」および「知識の枠組み」のセクションには、議論の題材として興味深い「知識に関する問い」が例示されています。生徒は、理科とTOKの授業の両方で、こうした「知識に関する問い」を提起して議論するよう奨励されます。

## 「理科」(グループ4)のねらい

「生物」「化学」「物理」を履修する生徒は、学習を通じて、科学者がどのような方法で研究し、どのような方法で互いにコミュニケーションをとるのかについて意識するようになるでしょう。科学的方法には幅広い形態がありますが、これらの科目を特徴づけているのは実験を通じた実践的なアプローチに重点を置いている点です。

「理科」(グループ4)では、「科学の本質」のテーマを中心としながら、生徒が以下を身につけることを目指します。

1. 刺激的でチャレンジに満ちた機会を通じて、グローバルな文脈における科学研究とその創造性について理解する。
2. 科学技術の特徴づける知識体系、方法、および手法を習得する。
3. 科学技術の特徴づける知識体系、方法、および手法を応用し活用する。
4. 科学情報を分析、評価、統合する能力を身につける。
5. 科学活動の中で、効果的な協働およびコミュニケーションの必要性と価値に対して批判的意識を身につける。
6. 実験および研究に関する科学的スキルを身につける。スキルには、現在、利用可能な技術を活用することを含む。
7. 科学を学ぶことを通じて21世紀のコミュニケーションスキルを身につけ、応用する。
8. 科学技術を用いることの倫理的影響について、グローバルな社会の一員として批判的な意識をもつ。
9. 科学技術の可能性とその限界についての理解を深める。
10. 科学の学問分野間の関係性と他の知識分野への影響についての理解を深める。

## 評価目標

「生物」「化学」「物理」では、前述の「ねらい」に照らし合わせて、科目を担当する教師が評価する内部評価、または学校外で実施されるIBによる外部評価を通じて評価目標を正式に評価します。評価では、「科学の本質」が重視されます。各科目は、生徒が以下の評価目標を身につけることを目指します。

1. 以下の知識と理解を示すことができる。
  - a. 事実、概念、用語
  - b. 方法論と手法
  - c. 科学情報の伝達
2. 以下を応用することができる。
  - a. 事実、概念、用語
  - b. 方法論と手法
  - c. 科学情報の伝達の方法
3. 以下を公式化、分析、評価することができる。
  - a. 仮説、リサーチクエスチョン研究課題と予測
  - b. 方法論と技法
  - c. 一次データと二次データ
  - d. 科学的説明
4. 洞察力があり倫理に適った研究を行うのに必要とされる適切な研究スキル、実験スキル、人間性の側面に関連したパーソナルスキルを示すことができる。

## シラバスの概要

シラバスの構成	推奨される 授業時間数	
	SL	HL
<b>SL・HL共通項目</b>	<b>95</b>	
1. 測定と不確かさ	5	
2. 力学	22	
3. 熱物理学	11	
4. 波	15	
5. 電気と磁気	15	
6. 円運動と万有引力	5	
7. 原子・原子核・素粒子	14	
8. エネルギー生産	8	
<b>HL発展項目</b>		<b>60</b>
9. 波の現象		17
10. 場		11
11. 電磁誘導		16
12. 量子物理学と原子核物理学		16
<b>選択項目</b>	<b>15</b>	<b>25</b>
A. 相対性理論	15	25
B. 基礎工学	15	25
C. イメージング	15	25
D. 天体物理学	15	25
<b>実習を伴う学習活動</b>	<b>40</b>	<b>60</b>
実習 (practical activity)	20	40
個人研究 (individual investigation) (内部評価— I A)	10	10
「グループ4プロジェクト」	10	10
<b>総授業時間数</b>	<b>150</b>	<b>240</b>

I B資料『*General regulations: Diploma Programme* (総則：D P編)』(2011年刊)の第8.2項(4ページ)に示されているとおり、HL科目で240時間、SL科目で150時間の授業時間を確保することが推奨されています。

# 「物理」の指導の方法

## シラバスの形式

「理科」（グループ4）のシラバスは、「物理」「化学」「生物」ともに共通の形式です。新しい形式では、「指導」と「学習」の要点がわかりやすくなりました。

## トピックと選択項目

トピックは数字で、選択項目はアルファベットで示されています（例えば、「トピック8：エネルギー生産」「選択項目D：天体物理学」）。

## サブトピック

サブトピックは、「6.1 衝突理論と反応速度」のように数字で表されます。費やすべき授業時間数に関する詳しい情報と指針は、教師用参考資料に記載されています。

各サブトピックは、「学習のポイント」で始まります。学習のポイントは、科学についての一般に理解されている基本的な考えを示します。続く「『科学の本質』（NOS）との関わり」の欄では、「科学の本質」の各要素につながるのある特定の例を文脈の中に置いて説明します。これらは、「指導の手引き」の「科学の本質」の章に記述された特定の段落に直接結びついており、取り組むべき全体的なテーマを教師が理解するのに役立ちます。

「科学の本質」のテーマの下には2つの欄があります。左側の欄は、教えるべき主要な概念を「理解」として一覧にしています。次に「理解」から発展させるべき具体的な応用とスキルを概説する「知識・スキルの活用」の項目が続きます。「指導」の項目では、「どのようなポイントを必ず押さなければならないか」、「どのようなポイントは要求されていないか」、また、「どの程度深く学ばなければならないか」など、教師および試験官が知らない情報であることを示しています。「科学の本質」の欄の内容、および左側の欄の内容は、すべて評価の対象となる項目です。さらに、これまで同様、右側の欄にある「国際的な視野」も評価の対象となります。

右側の欄は、「国際的な視野」に関して参考となるヒントを教師に提案しています。「知の理論（TOK）」の項目では、「知識に関する問い」（2014年刊の『「知の理論（TOK）」指導の手引き』を参照）の例を挙げ、「所定課題エッセイ」（TOKエッセイ）に向けて生徒の思考を深めます。「自然や人間生活との関わり」の項目では、サブトピックをシラバスの他の部分、他のDP科目、または現実世界への応用に関連づけます。最後に、「ねらい」の項目は、「理科」（グループ4）の各ねらいがサブトピックにおいて具体的にどのように扱われるのかについて言及しています。

## 「指導の手引き」の形式

### トピック1：〈単元名〉

【学習のポイント】各サブトピックの学習のポイントを明示します。

1.1 サブトピック	
<p>「科学の本質」(NOS) との関わり —— 中心となっている「科学の本質」のテーマとサブトピックを関連づけます。</p>	
<p><b>理解</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>各サブトピックで扱わなければならない学習内容を具体的に挙げます。</li> </ul> <p><b>知識・スキルの活用</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>生徒が「理解」をどのように応用するかについての詳細を説明します。応用には、数学的な計算や実習に関するスキルも含まれます。</li> </ul> <p><b>指導</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>「理解」と「知識・スキルの活用」で習熟することが求められる要件を具体的に説明します。</li> <li>I B資料「物理資料集」の参照箇所も記載されています。</li> </ul>	<p><b>国際的な視野</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>教師が授業で取り上げやすい内容を取り上げます。</li> </ul> <p><b>「知の理論」(TOK)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>TOKの「知識に関する問い」の例を挙げます。</li> </ul> <p><b>自然や人間生活との関わり</b> (シラバス内および他科目との関連)</p> <p>「物理」で学習する他のトピック、さまざまな現実世界への応用、他のDP科目との関連を列記します。</p> <p><b>ねらい</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>「理科」(グループ4)のねらいとのつながりを示します。</li> </ul>

## 「理科」(グループ4)の実験スキル

百聞は一見に如かず。百見は一為に如かず。故に、万聞は一為に如かず。

孔子

「理科」(グループ4)の各科目を履修する生徒の学習経験に欠かせないのが、教室、実験室、フィールドワークでの経験です。実習を通じて、生徒は自然現象や二次データ源と直接関わり合うことができます。これらの経験は、生徒にとって、研究計画、データ収集、操作スキルの向上、結果の解析、クラスメートとの協働、知見の評価と伝達に取り組む機会となります。実験は、トピックの導入や、現象の研究、または、生徒が抱いている疑問や興味をもった問題について考察し、検証する方法として活用することができます。

生徒に実践的な実験の機会を設けることで、生徒は、科学者が行うのと同じプロセスの一部を経験します。実験を通じて、生徒は、科学的思考と研究の本質を経験することができます。すべての科学的理論と法則は、観察から始まります。

「実習」は、生徒が科学的探究を発展させることのできるものであることが重要です。単に指示に従い、与えられた実験手順を反復できるだけでは、十分ではありません。生徒

には、真の探究の機会を設けなければなりません。科学的探究スキルを身につけることで、生徒は確かな証拠<sup>エビデンス</sup>と論理的推論に基づいた説明を構築できるようになります。このような高次の思考スキルを身につけることを通じて、生徒を生涯にわたり学び続ける科学的な教養のある人になるよう導きます。

学校での「実習を伴う学習活動」は、生徒が、選択項目を含む学習内容の幅と深さを十分に経験できるようなものでなければなりません。また、「実習を伴う学習活動」は、生徒が内部評価の要件である「個人研究」に取り組むための準備となるようなものでなければなりません。「操作スキルの向上」には、生徒が指示に正確に従えること、さまざまな手法や装置を用いて、安全で適正な秩序だった実験を実践できるようになることが含まれます。

シラバスの「知識・スキルの活用」の項目には、生徒が「理科」（グループ4）の各科目の学習を通じて経験しなければならない具体的な実験スキル、手法、および実験内容が挙げられています。その他の推奨される実験スキル、手法、および実験内容は、シラバスの「ねらい」の項目に挙げられています。「理科」（グループ4）の「ねらい6」は、実験および研究スキルの習熟に直接的に関係するものです。

## 数学に関する要件

D Pで「物理」を学ぶ生徒はいずれも、以下に習熟していなければなりません。

- ・ 基本的な加減乗除の算術関数を行うこと
- ・ 平均、小数、分数、パーセンテージ、比、近似値、逆数を含む計算を行うこと
- ・ 三角関数を使った数式処理を行う
- ・ 対数および指数関数を使った数式処理を行う（HLのみ）
- ・ 標準的な表記法（例えば  $3.6 \times 10^6$ ）を使用すること
- ・ 正比例や反比例を使用すること
- ・ 単純な方程式を解くこと
- ・ 線形連立方程式を解くこと
- ・ 直線的関係や非線形的関係を示す2つの変数を含むグラフを（適切な尺度や軸を用いて）作成すること
- ・ 傾きの重要性、傾きの変化、切片、面積などグラフを読み取ること
- ・ 散布図に曲線や直線状の最良適合線を描くこと
- ・ 最良適合直線の引かれた散布図において、すべてのエラーバーを考慮した際に適切な最大および最小勾配線を、目視で推定し描くこと
- ・ さまざまな形式（例えば、棒グラフ、柱状グラフ、円グラフ）で表されたデータを読み取ること
- ・ 算術平均を  $\bar{x}$ （エックスバー）表記を使って表すこと
- ・ 不確かさを、正当な理由のもと、有効数字ひと桁またはふた桁に丸めて表すこと

## I B 資料『物理資料集』

「物理」の授業では、I B 資料『物理資料集』が欠かせません。『物理資料集』は、DPの「物理」の履修期間を通じて授業でも使用します。外部評価の際に使用するためだけのものではありません。『物理資料集』には、有用な式、定数、データ、構造式、情報の一覧が記載されています。「指導の手引き」のシラバスには、『物理資料集』の情報を直接参照できるように関連箇所が明確に記載されており、生徒が『物理資料集』を活用し、内容を熟知できるようになっています。『物理資料集』は、授業中の学習活動や学校内で実施する評価でも活用されることが推奨されています。

SL・HLの外部評価では、「試験問題1」「試験問題2」「試験問題3」のすべてで、必ず、書き込みのされていない真新しい『物理資料集』が受験者用に用意されなければなりません。

## 情報コミュニケーション技術の活用

授業では、実習、そして日々の教室での活動の両方で情報コミュニケーション技術（ICT）を活用することが奨励されています。教師は、「教師用参考資料」のICTのページを参照してください。

## 授業計画

「指導の手引き」のシラバスは、教える順番を示したものではありません。履修期間中に網羅する必要のある学習内容の詳細を記したものです。学校は、生徒にとって最も望ましい授業計画を開発するようにしてください。授業計画は、リソースの利用可能状況や、生徒のこれまでの学習経験、また、その他の地域的な要件などを考慮に入れて開発することができます。

上級レベル（HL）の担当教師は、どのように教えるかを選択することができます。「SL・HL共通項目」と「HL発展項目」を同時に教えることもできる一方、第1年次に「SL・HL共通項目」を教え、第2年次に「HL発展項目」の学習し、それを通じて「SL・HL共通項目」を復習するというように、らせん状に教えることもできます。「選択項目」のトピックは、独立したトピックとして教えることも、「SL・HL共通項目」または「HL発展項目」、あるいはその両方の授業に統合することもできます。

どのように授業を計画するにしろ、試験勉強に向けた復習の時間を十分に確保しなければなりません。また、生徒が自分自身の学習経験と学習者としての自己の成長を振り返るための時間も必要です。



## IBの学習者像

DPの「物理」は、「IBの学習者像」に示される人物像へと生徒が成長することに密接に結びついています。「物理」を履修することによって、生徒は「IBの学習者像」の各要素に取り組むこととなります。例えば、内部評価課題で求められる要件に取り組むことは、「IBの学習者像」のあらゆる要素での成長を生徒に促します。「IBの学習者像」の各人物像と「理科」（グループ4）の関連する点を以下の表に示します。

IBの学習者像	「生物」「化学」「物理」
探究する人	ねらい2、ねらい6 実習、内部評価
知識のある人	ねらい1、ねらい10、「国際的な視野」との関わり 実習、内部評価
考える人	ねらい3、ねらい4、「知の理論」（TOK）との連携 実習、内部評価
コミュニケーションができる人	ねらい5、ねらい7、外部評価 実習、内部評価、「グループ4プロジェクト」
信念をもつ人	ねらい8、ねらい9 実習、内部評価、倫理的行動実践（IBポスター「Ethical practice」、IB資料『 <i>IB animal experimentation policy</i> （IBの動物実験に関する方針）』）、学問的誠実性
心を開く人	ねらい8、ねらい9、「国際的な視野」との関わり 実習、内部評価、「グループ4プロジェクト」
思いやりのある人	ねらい8、ねらい9 実習、内部評価、「グループ4プロジェクト」、倫理的行動実践（IBポスター「Ethical practice」、IB資料『 <i>IB animal experimentation policy</i> （IBの動物実験に関する方針）』）
挑戦する人	ねらい1、ねらい6 実習、内部評価、「グループ4プロジェクト」
バランスの取れた人	ねらい8、ねらい10 実習、内部評価、「グループ4プロジェクト」、フィールドワーク
振り返ることができる人	ねらい5、ねらい9 実習、内部評価、「グループ4プロジェクト」

## シラバスの内容

	推奨される 授業時間数
<b>SL・HL 共通項目</b>	<b>95時間</b>
<b>トピック1 — 測定と不確かさ</b>	<b>5</b>
1.1 物理における測定	
1.2 不確かさと誤差	
1.3 ベクトルとスカラー	
<b>トピック2 — 力学</b>	<b>22</b>
2.1 運動	
2.2 力	
2.3 仕事・エネルギー・仕事率	
2.4 運動量と力積	
<b>トピック3 — 熱物理学</b>	<b>11</b>
3.1 熱の概念	
3.2 気体の分子モデル	
<b>トピック4 — 波</b>	<b>15</b>
4.1 振動	
4.2 進行波	
4.3 波の特性	
4.4 波のふるまい	
4.5 定常波	
<b>トピック5 — 電気と磁気</b>	<b>15</b>
5.1 電場	
5.2 電流の発熱効果	
5.3 電池	
5.4 電流と磁場から受ける力	
<b>トピック6 — 円運動と万有引力</b>	<b>5</b>
6.1 円運動	
6.2 ニュートンの万有引力の法則	

	推奨される 授業時間数
<b>トピック7 — 原子・原子核・素粒子</b>	<b>14</b>
7.1 とびとびのエネルギーと放射能	
7.2 核反応	
7.3 物質の構造	
<b>トピック8 — エネルギー生産</b>	<b>8</b>
8.1 エネルギー源	
8.2 熱エネルギーの伝達	
<b>HL 発展項目</b>	<b>60時間</b>
<b>トピック9 — 波の現象</b>	<b>17</b>
9.1 単振動	
9.2 単スリットによる回折	
9.3 干渉	
9.4 分解能	
9.5 ドップラー効果	
<b>トピック10 — 場</b>	<b>11</b>
10.1 場の表現	
10.2 場のはたらき	
<b>トピック11 — 電磁誘導</b>	<b>16</b>
11.1 電磁誘導	
11.2 発電と送電	
11.3 電気容量	
<b>トピック12 — 量子物理学と原子核物理学</b>	<b>16</b>
12.1 光と物質の相互作用	
12.2 原子核物理学	
<b>選択項目</b>	<b>15時間 (SL) / 25時間 (HL)</b>
<b>A 相対性理論</b>	
<b>SL・HL共通項目のトピック</b>	
A.1 相対性理論のはじまり	
A.2 ローレンツ変換	
A.3 時空図	

**HL 発展項目のトピック**

- A.4 相対論的力学 (HLのみ)
- A.5 一般相対性理論 (HLのみ)

**B 基礎工学**

**SL・HL 共通項目のトピック**

- B.1 剛体と回転運動の力学
- B.2 熱力学

**HL 発展項目のトピック**

- B.3 流体と流体力学 (HLのみ)
- B.4 強制振動と共振 (HLのみ)

**C イメージング**

**SL・HL 共通項目のトピック**

- C.1 イメージングの基礎
- C.2 光学機器
- C.3 ファイバー光学

**HL 発展項目のトピック**

- C.4 医療イメージング (HLのみ)

**D 天体物理学**

**SL・HL 共通項目のトピック**

- D.1 恒星にまつわる物理量
- D.2 恒星の性質と進化
- D.3 宇宙論

**HL 発展項目のトピック**

- D.4 星における物理過程 (HLのみ)
- D.5 より高度な宇宙論 (HLのみ)

## トピック1 ― 測定と不確かさ

5 時間

【学習のポイント】 1948年以降、科学技術の世界標準語として定められた国際単位系（S I）が、測定の表記に望ましい単位系として使用されている。

<p>1.1 物理における測定</p>	<p>「科学の本質」（NOS）との関わり          共通の用語――18世紀以降、さまざまな分野で研究を行う科学者の国際協力や、実験結果の再現と比較を容易にすることをめざし、測定のための標準化された単位系の規定が模索されてきた。（1.6）          計測機器の改善――原子時計に使われるセシウム133の遷移などに見られる計測方法や機器の進歩は、より精密な標準単位の定義につながっている。（1.8）          確実性――厳密に「正確」な事実を見つけることが科学者の目標として捉えられがちだが、いかなる測定においても不確かさの存在は避けられないものである。（3.6）</p>	<p><b>理解</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ S Iの基本単位と組立単位</li> <li>・ 科学的表記法とS I接頭語</li> <li>・ 有効数字</li> <li>・ 桁数（オーダー）</li> <li>・ 見積もりをする</li> </ul> <p><b>知識・スキルの活用</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 測定、計算結果、生および加工後データすべてにおいて、S I単位系を正確に使う。</li> <li>・ 科学的表記法とS I接頭語を使う。</li> <li>・ 比率や値の見積もりおよび比較や近い桁（オーダー）への近似をする。</li> <li>・ 見積もりをする際、適切な有効数字に数値を丸める。</li> </ul> <p><b>国際的な視野</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 科学における協働作業は、データの表現方法の標準化により、言語の違いや国境をこえ、真に国際的な活動となり得る。</li> </ul> <p><b>「知の理論」（TOK）</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 科学で使われる共通言語に影響を与えてきたものは何だろうか。標準化された共通の測定方法をもつことは、物理学の知識の共有を可能にすることにどの程度、貢献しているだろうか。</li> </ul> <p><b>自然や人間生活との関わり</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ このトピックは履修開始時に扱うどのような単元にも組み入れることができる。また、すべての学習項目において重要となる。</li> <li>・ 他の「理科」（グループ4）科目すべてにおいて応用がきくスキルである。</li> <li>・ 「数学スタタディーズS L」 1.2～1.4</li> </ul>
---------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<p>1.1 物理における測定</p>	<p><b>ねらい</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ <b>ねらい2・ねらい3</b>：国際的な共同研究を行う科学者にとって基本的な知識である。</li> <li>・ <b>ねらい4・ねらい5</b>：分析結果の表現や評価、情報収集過程の標準化は、さらなる共同研究や知識の共有を可能にする。</li> </ul>
<p><b>指導</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ S I 単位系を利用するための情報は、国際度量衡局のウェブサイトで得ることができる。</li> <li>・ S I の定義については、この資料の各項目に明確に示されているもの以外を取り上げる必要はない。</li> <li>・ カンデラ (cd) は、本科目において必須の単位と見なさない。</li> <li>・ eV、MeV c<sup>2</sup>、ly、および pc など、非 S I 単位を使用する場合は、本資料の中の該当するトピックでその都度、取り扱いを示す。</li> <li>・ 試験における科学的表記法および有効数字の取り扱いの詳細は、I B 資料『<b>物理</b> 教師用参考資料』を参照のこと。</li> </ul> <p><b>I B 資料『物理資料集』関連項目</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ S I 接頭語は I B 資料『物理資料集』の 2 ページを参照すること。</li> </ul>	

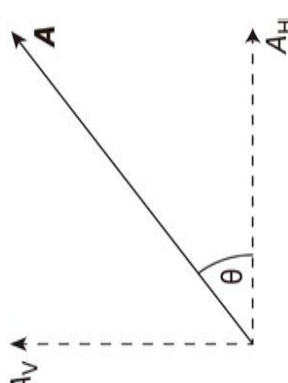
**【学習のポイント】** 科学者は、測定から「正しい値」を得られそうな実験を計画するが、計測機器の精度の限界により、結果には不確かさの度合いを併記することが多い。

<p><b>1.2 不確かさと誤差</b></p> <p><b>「科学の本質」(NOS) との関わり</b></p> <p>不確かさ——「すべての科学知識は不確かなもので、あらかじめ何らかの確信をもってしまうと、解は得られないかもしれません。答えについて何もわからないと白状するときの科学者は、まったく無知です。もしかしたらこうかもしれない、というときの科学者にも、答えははっきりわかっています。かなり確信をもった科学者が『おそらくこれが正しい』と語るときでさえ、ある程度の疑問をもち続けているのです。しかし、この無知と疑念を認める態度こそが、進歩にとっては最も重要なのです。なぜなら、疑いの余地があるからこそ、新しい方向とアイデアへの模索が続くからです」 (3.4) リチャード・ファインマン (1998) 『<i>The Meaning of It All: Thoughts of a Citizen-Scientist</i>』 Reading, Massachusetts, USA. Perseus. P.13</p>	<p><b>「知の理論」(TOK)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ ジェイコブ・プロノフスキーは「物理科学分野の目的の1つは、物質世界を厳密に描き切ることだ。20世紀の物理学の功績は、それが不可能であるということの証明であった」と述べている。科学者は自らの発見について、完全な確信をもつことができるだろうか。</li> </ul> <p><b>自然や人間生活との関わり</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 「理科」(グループ4) 科目すべてにおいて応用がきくスキルである。</li> </ul> <p><b>ねらい</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ <b>ねらい4</b>：誤差と不確かさは、測定値のとり得る可能な範囲を示すのみでなく、科学的手法に不可欠な部分であることを生徒に認識させることが重要である。</li> <li>・ <b>ねらい9</b>：古典物理学における不確かさの扱いは、量子物理学など近代物理学における不確かさの考え方と比べることができる。</li> </ul>
<p><b>理解</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 偶然誤差と系統誤差</li> <li>・ 絶対誤差、相対誤差、パーセント誤差</li> <li>・ エラーバー</li> <li>・ 傾きと切片の不確かさ</li> </ul> <p><b>知識・スキルの活用</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 偶然誤差と系統誤差の見分けや減らし方を説明する。</li> <li>・ 絶対誤差と相対誤差の含まれたデータの収集と、「最良推定値 ± 不確かさ」という形で不確かさの併記をする。</li> <li>・ 加減乗除とべき乗に関する計算における不確かさの伝播則を使う。</li> <li>・ 傾きと切片における不確かさを計算する。</li> </ul>	<p><b>指導</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 三角関数や対数関数における不確かさの解析は、試験で扱わない。</li> <li>・ 不確かさ、エラーバー、および回帰線の、試験における使用に関するさらなる手引きは、IB資料『物理』教師用参考資料』を参照のこと。</li> </ul>

1.2 不確かさと誤差	I B 資料『物理資料集』関連項目
	<ul style="list-style-type: none"><li>• <math>y = a \pm b</math> ならば <math>\Delta y = \Delta a + \Delta b</math> である。</li><li>• <math>y = \frac{ab}{c}</math> ならば <math>\frac{\Delta y}{y} = \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b} + \frac{\Delta c}{c}</math> である。</li><li>• <math>y = a^n</math> ならば <math>\frac{\Delta y}{y} = n \frac{\Delta a}{a}</math> である。</li></ul>



**【学習のポイント】** 量には、向きと大きさ両方をもつものと、大きさのみをもつものがあり、その違いを理解することは量を正しく扱ううえで重要となる。この項目は、物理や他の科学分野において広く応用がきくものである。

<p>1.3 ベクトルとスカラー</p>	
<p><b>「科学の本質」(NOS) との関わり</b></p>	
<p>モデル——1846年に出された論文において初めて言及されたスカラーとベクトルという概念は、3次元における測定値を表すための、300年以上におよぶ科学者と数学者による研究の成果である。(1.10)</p>	
<p><b>理解</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>ベクトル量とスカラー量</li> <li>ベクトルの合成と分解</li> </ul> <p><b>知識・スキルの活用</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>図的および代数的にベクトルに関する問題を解く。</li> </ul> <p><b>指導</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>ベクトルの分解は2つの垂直な方向のみに限って行われる。</li> <li>問題は、ベクトルどうしの加減とベクトルとスカラーの乗除に限る。</li> </ul>	<p><b>国際的な視野</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>ベクトル表記は地球地図の作成の基礎となっている。</li> </ul> <p><b>「知の理論」(TOK)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>数学における確実さと証明の特徴とは何だろうか。</li> </ul> <p><b>自然や人間生活との関わり</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>「地理」(SL・HL) シラバス：地理的技能——ナビゲーションと測量</li> <li>「物理」2.2、5.1、6.1、10.1——力と場の強さ</li> <li>「数学HL」4.1、「数学SL」4.1——ベクトル</li> </ul> <p><b>ねらい</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>ねらい2・ねらい3</b>：ベクトルは空間表現と抽象概念の扱いを可能にする、基本的な科学言語の1つである。</li> </ul>
<p><b>I B 資料『物理資料集』関連項目</b></p>  <ul style="list-style-type: none"> <li><math>A_H = A \cos \theta</math></li> <li><math>A_V = A \sin \theta</math></li> </ul>	

【学習のポイント】運動は、グラフと方程式を用いて表し分析することができる。

<p><b>2.1 運動</b></p> <p>「科学の本質」(NOS) との関わり          観測——運動の概念は、物理のさまざまな分野において基本であり、力と物体の動きを密接に結びつけている。等加速度運動の式は、自然現象の注意深い観測を通じて発展した。(1.8)</p>	<p><b>理解</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 距離と変位</li> <li>・ 速さと速度</li> <li>・ 加速度</li> <li>・ 運動を表すグラフ</li> <li>・ 等加速度運動の式</li> <li>・ 放物運動</li> <li>・ 流体における抵抗力和終端速度</li> </ul> <p><b>知識・スキルの活用</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 平均および瞬間の速度、速さ、加速度の値を計算する。</li> <li>・ 等加速度運動の式を使って問題を解く。</li> <li>・ 運動を表すグラフを描き、解釈する。</li> <li>・ 自由落下における加速度を実験において計算する。</li> </ul>
	<p><b>国際的な視野</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 船舶、陸運、航空および宇宙に存在する物体の追跡には国際協力が欠かせない。</li> </ul> <p><b>「知の理論」(TOK)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 放物運動において、水平成分と鉛直成分を独立したものとして扱う考え方は、直観に反するかに見える。科学者は直観的に捉えられない現象を、どのように考えるのだろうか。科学者は直観をどのようにに利用するのだろうか。</li> </ul> <p><b>自然や人間生活との関わり</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ ダイビングやパラシュートなどの運動には流体の抵抗力が影響を与える。</li> <li>・ 弾道計算には、注意深い分析が必要である。</li> <li>・ 「スポーツ・エクササイズ・健康科学」(SL) 4.3 ——生物力学</li> </ul>

2.1 運動	
<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 加速度、速度、および変位を鉛直成分、水平成分に分解して、放物運動の分析をする。</li> <li>・ 流体中を落下する物体や投射物が終端速度に至る過程までにはたらく抵抗力の影響を定性的に説明する。</li> </ul> <p><b>指導</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 空気抵抗を無視する計算のみを扱う。</li> <li>・ 放物運動では、地球表面上における重力加速度の値 <math>g</math> を定数と仮定する問題のみを扱う。</li> <li>・ 落下体の軌跡を表す方程式は扱わない。</li> </ul> <p><b>I B 資料『物理資料集』 関連項目</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ <math>v = u + at</math></li> <li>・ <math>s = ut + \frac{1}{2} at^2</math></li> <li>・ <math>v^2 = u^2 + 2as</math></li> <li>・ <math>s = \frac{(v + u)t}{2}</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 「数学HL」2.6、「数学SL」2.4、「数学スタディーズSL」6.3 —二次関数</li> <li>・ 「数学HL」6.6、「数学SL」6.6 —運動方程式の微積分的な扱い</li> </ul> <p><b>ねらい</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ <b>ねらい2</b>：古典物理学の発展は運動学の進歩によるところが大きい。</li> <li>・ <b>ねらい6</b>：重力加速度 <math>g</math> の測定・時刻表を用いた速さの推計・放物運動の解析・流体内の運動の研究などの実験およびデータ収集を行うことも考えられる。</li> <li>・ <b>ねらい7</b>：技術の進歩は、投射運動の解析やシミュレーションによる終端速度の動画による解析を可能にするなど、運動のより正確な測定を可能にしている。</li> </ul>

**【学習のポイント】** ニュートンの運動の法則に示唆されるように、古典物理においては物体の運動状態を変化させるために力が必要とされる。

2.2 力	
<p><b>「科学の本質」(NOS) との関わり</b></p> <p>数学の利用——アイザック・ニュートンは、微積分学を生み出し、その数学を応用することで先人による数々の仕事をまとめ、力と運動を理解するための基礎をつくり上げた。(2.4)</p> <p>直観——木から落ちるリンゴの話は、1687年に刊行された名著『自然哲学の数学的諸原理(プリンピキア)』にまとめられた、数々の直観の輝きの一例にすぎない。(1.5)</p>	<p><b>「知の理論」(TOK)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 古典物理学は、現在の状態から将来の世界を予測できると考えていた。現在から将来を予測することはどの程度可能だろうか。</li> </ul> <p><b>自然や人間生活との関わり</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 「物理」5.4、6.1、11.1、12.2——場における荷電粒子の動き</li> <li>・ 「物理」6.1——円運動における摩擦の応用</li> <li>・ 建築(古代や近代における安全、耐用寿命、天候や局地的な問題への取り組み方)</li> <li>・ 「スポーツ・エクササイズ・健康科学」(SL) 4.3——生体力学</li> </ul>
<p><b>理解</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 質点としての物体</li> <li>・ 自由物体図(物体にはたらく力を書き込んだ図)</li> <li>・ 並進運動における力のつりあい</li> <li>・ ニュートンの運動の法則</li> <li>・ 摩擦</li> </ul> <p><b>知識・スキルの活用</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 力をベクトルとして表現する。</li> <li>・ 自由体図を描き、解釈する。</li> <li>・ 並進運動における力のつりあいを運動の第1法則を応用して説明する。</li> <li>・ 運動の第2法則を定性的および定量的に使う。</li> <li>・ 運動の第3法則に照らして作用と反作用の関係にある2つの力を特定する。</li> <li>・ 力に関する問題において合力を計算する。</li> <li>・ 摩擦係数を使って静止摩擦と動摩擦を説明する。</li> </ul> <p><b>指導</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 力を表すときは(重さ、重力、<math>mg</math>などの)一般的にその場面に適切な名称や記号を使って表現することが望ましい。</li> <li>・ 自由物体図では作用点から長さが一定の比率に縮尺されたベクトルを描くことが望ましい。</li> </ul>	<p><b>「知の理論」(TOK)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 「スポーツ・エクササイズ・健康科学」(SL) 4.3——生体力学</li> </ul>

<p>2.2 力</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 例題と問題では質量が一定のものだけを扱う。</li> <li>・ <math>mg</math> という記号で重さを表す。</li> <li>・ 合力を扱う計算では、1次元と2次元のみを扱う。</li> </ul> <p><b>I B 資料『物理資料集』関連項目</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ <math>F = ma</math></li> <li>・ <math>F_f \leq \mu_s R</math></li> <li>・ <math>F_f = \mu_d R</math></li> </ul>
<p>ねらい</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ <b>ねらい2・ねらい3</b>：ニュートンの功績は、『プリンキピア』刊行の11年前に、彼がライバルであるロバート・フックに宛てた手紙につづられた以下の一節を通じて語られることが多い。「デカルトの功績は良いはじめの一步だった。あなたも、とりわけ薄膜の干渉色を哲学的な問題に昇華するなど、いくつつかの重要な功績を積み上げてきた。もし私がより遠くまで見渡せたとすれば、それは巨人の肩の上に乗ることによってです」。この言葉は、ニュートンの時代より以前500年以上にわたり使われてきたフレーズに着想を得たものであることも認識されるべきであろう。</li> <li>・ <b>ねらい6</b>：運動の第2法則の確認・力のつりあいあいの研究・摩擦による効果の測定などの実験を行うことも考えられる。</li> </ul>

【学習のポイント】 エネルギーの概念は、科学の発展の大部分を支える土台をもたらした。

<p>2.3 仕事・エネルギー・仕事率</p>	
<p><b>「科学の本質」(NOS) との関わり</b></p> <p>理論——現象の多くは、エネルギー保存の理論を応用することで根本的な理解が可能である。エネルギー保存の法則は、自然現象を説明するのみでなく、新たに見つかる作用の結果を予測することにも使われてきた。エネルギーの概念は、質量とエネルギーの間に存在する関係の理解の発展にともなう変化してきている。(2.2)</p>	
<p><b>理解</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 運動エネルギー</li> <li>・ 重力による位置エネルギー</li> <li>・ 弾性力による位置エネルギー</li> <li>・ エネルギー伝達としての仕事</li> <li>・ エネルギー伝達率としての仕事率</li> <li>・ エネルギー保存の原理</li> <li>・ 効率</li> </ul> <p><b>知識・スキルの活用</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ エネルギー変換における総エネルギーの保存を議論する。</li> <li>・ 力と移動距離のグラフを描き、解釈する。</li> <li>・ 力の向きと移動の向きが異なる例に関する問題での仕事量を計算する。</li> <li>・ 仕事率に関する問題を解く。</li> <li>・ エネルギー伝達における効率を定量的に説明する。</li> </ul> <p><b>指導</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 力の向きと移動の向きが平行でない例も扱うことが望ましい。</li> <li>・ 力と移動距離のグラフでは、力が一定でなく変化する例も扱うことが望ましい。</li> </ul>	<p><b>「知の理論」(TOK)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 科学的知識は、エネルギーのような基本的な概念にどの程度基づいているだろうか。基本的な概念の変化や進化は、科学的知識にどのような影響をもたらすだろうか。</li> </ul> <p><b>自然や人間生活との関わり</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ エネルギーは他の「理科」(グループ4)科目においても扱われる(例えば、「生物」トピック2、4、8、「化学」5、15、C、「スポーツ・エクササイズ・健康科学」3、A.2、C.3、D.3、「環境システムと社会」1、2、3)。</li> <li>・ 「物理」5、8.1——エネルギー変換は電気生産に不可欠である。</li> <li>・ 「物理」4.1、9.1——単振動におけるエネルギー変化</li> </ul> <p><b>ねらい</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ <b>ねらい6</b>: 落下体における運動エネルギーと重力による位置エネルギーの関係・仕事率と機械の効率・弾性力による位置エネルギーに関する問題でのさまざまな状態の比較などの実験を行うことも考えられる。</li> <li>・ <b>ねらい8</b>: このトピックとトピック8を関係づけることで、エネルギー効率とエネルギー生産に使われる燃料の節約の重要性を生徒に理解させることができる。</li> </ul>

## 2.3 仕事・エネルギー・仕事率

## I B 資料『物理資料集』関連項目

- $W = Fs \cos\theta$

- $E_K = \frac{1}{2}mv^2$

- $E_p = \frac{1}{2}k\Delta x^2$

- $\Delta E_p = mg\Delta h$

- 仕事率 =  $Fv$

- 効率 =  $\frac{\text{得られる仕事}}{\text{行った仕事}}$   
=  $\frac{\text{得られる仕事率}}{\text{行った仕事率}}$

【学習のポイント】運動量の保存則は、決して破られることのない法則の一例である。

2.4 運動量と力積	
「科学の本質」(NOS) との関わり	
<p>運動量の概念と運動量保存の原理は、マクロな運動からミクロな衝突まで、広範な物理作用の結果を予測し解析することに用いられる。(1.9)</p>	<p>国際的な視野</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ シートベルトやエアバッグなどの自動車における受動的安全技術に関する基準は、多国籍で行われた研究に基づいており、世界中で採用されている。</li> <li>・ 数々の保存則は、物理学のさらなる発展を促すものだろうか、それとも阻害するものだろうか。</li> </ul> <p>自然や人間生活との関わり</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ ジェットエンジンやロケット</li> <li>・ 武道</li> <li>・ 「物理」3.1—素粒子理論および衝突</li> </ul> <p>ねらい</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ <b>ねらい3</b>：さまざまな保存則は、科学理論の発展において、制約という可能性を与えることに大きな役割を担ってきた。</li> <li>・ <b>ねらい6</b>：衝突におけるエネルギー伝達の解析・力積を通じての速度、力、時間、質量の算出・非弾性衝突におけるエネルギー変換の算出などの実験を行うことも考えられる。</li> <li>・ <b>ねらい7</b>：現実の衝突を捉えた動画による観察や分子動力学シミュレーションなど、科学技術の発展は、力や運動量のより正確な測定を可能にしている。</li> </ul>
<p><b>理解</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 運動量の時間変化率で表された運動の第2法則</li> <li>・ 力積および力と時間を軸にとるグラフ</li> <li>・ 運動量の保存</li> <li>・ 弾性衝突、非弾性衝突、分裂</li> </ul> <p><b>知識・スキルの活用</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 衝突、分裂、水噴射など孤立した系において運動量の保存を応用する。</li> <li>・ 質量が変化する条件下で運動の第2法則を定性的および定量的に応用する。</li> <li>・ 力と時間を軸にとるグラフを描き、解釈する。</li> <li>・ 車の安全やスポーツなど、さまざまな状況において適切な力積を求める。</li> <li>・ 弾性衝突、非弾性衝突、分裂が含まれる状況を、定性的および定量的に比較する。</li> </ul> <p><b>指導</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 運動方程式 <math>F = ma</math> は、質量 <math>m</math> が一定の場合にのみ <math>F = \frac{\Delta p}{\Delta t}</math> に等しいことを生徒に気づかせることが望ましい。</li> <li>・ 衝突における運動量およびエネルギー保存の法則の連立方程式を解くことは必要でない。</li> <li>・ 衝突や分裂に関する計算では1次元のみを扱う。</li> <li>・ 総エネルギーの保存と、運動エネルギーが保存されない非弾性衝突を対照することが望ましい。</li> </ul>	<p>「知の理論」(TOK)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 数々の保存則は、物理学のさらなる発展を促すものだろうか、それとも阻害するものだろうか。</li> </ul> <p>自然や人間生活との関わり</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ ジェットエンジンやロケット</li> <li>・ 武道</li> <li>・ 「物理」3.1—素粒子理論および衝突</li> </ul> <p>ねらい</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ <b>ねらい3</b>：さまざまな保存則は、科学理論の発展において、制約という可能性を与えることに大きな役割を担ってきた。</li> <li>・ <b>ねらい6</b>：衝突におけるエネルギー伝達の解析・力積を通じての速度、力、時間、質量の算出・非弾性衝突におけるエネルギー変換の算出などの実験を行うことも考えられる。</li> <li>・ <b>ねらい7</b>：現実の衝突を捉えた動画による観察や分子動力学シミュレーションなど、科学技術の発展は、力や運動量のより正確な測定を可能にしている。</li> </ul>



2.4 運動量と力積	<p data-bbox="295 1680 327 2049"><b>I B 資料『物理資料集』関連項目</b></p> <ul data-bbox="335 1769 582 2049" style="list-style-type: none"><li data-bbox="335 1892 367 2049">• <math>p = mv</math></li><li data-bbox="383 1892 446 2049">• <math>F = \frac{\Delta p}{\Delta t}</math></li><li data-bbox="462 1892 534 2049">• <math>E_K = \frac{p^2}{2m}</math></li><li data-bbox="550 1769 582 2049">• 力積 = <math>F\Delta t = \Delta p</math></li></ul>
------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

【学習のポイント】熱物理学は、多くのモデルにおいて基本となるマクロな物理量と、モデルの根底にあるミクロな特性の関連を巧みに説明する。

<p><b>3.1 熱の概念</b></p> <p>「科学の本質」(NOS) との関わり</p> <p>実験から得られた証拠——17～18世紀、原子構造の理解が未熟だった当時の科学者は、フロギストンや永久機関など、のちに誤りであることが示される理論を生み出すこともあった。現在の私たちの理解は統計力学に依存し、エネルギーの利用と理解のための基礎をもたらしている。(1.8)</p>	<p><b>理解</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 固体、液体、気体の分子論</li> <li>・ 温度と絶対温度</li> <li>・ 内部エネルギー</li> <li>・ 比熱</li> <li>・ 状態変化 (相転移)</li> <li>・ 潜熱</li> </ul> <p><b>知識・スキルの活用</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 内部エネルギーを用いて温度変化を説明する。</li> <li>・ 絶対温度およびセルシウス温度を使用する、および単位を変換する。</li> <li>・ 比熱や潜熱など、熱量測定テクニックを実験的に応用する。</li> <li>・ 状態変化 (相転移) を分子のふるまいを通じて説明する。</li> <li>・ 状態変化を表すグラフを描き、解釈する。</li> <li>・ 融解および蒸発における比熱および潜熱に関するエネルギー変化を計算する。</li> </ul>
	<p><b>国際的な視野</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 熱物理学は、測定システムに国際標準を用いることで科学者の効率的な協力を可能にした好例である。</li> </ul> <p><b>「知の理論」(TOK)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 感覚を通じた観察は、測定を行う際に重要な役割を果たしている。感覚の役割は分野によって異なるだろうか。</li> </ul> <p><b>自然や人間生活との関わり</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 圧力計、気圧計やマンメーターなどの圧力測定器は、この学習項目のさまざまな応用を紹介するのに適している。</li> <li>・ 「物理」トピック9、選択項目B.4 —— 選択項目Bを履修するHL履修生徒には熱力学との関連を示すこともできる。</li> <li>・ 「化学」1.3 —— 物質の微粒子的性質</li> <li>・ 「化学」5.1 —— エネルギー変化の測定</li> <li>・ 「生物」2.2 —— 水</li> </ul>

<p><b>3.1 熱の概念</b></p>	<p><b>ねらい</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ <b>ねらい3</b>：熱の概念の理解は、多くの科学分野において基本である。</li> <li>・ <b>ねらい6</b>：温度差によるエネルギー移動・熱量測定・相転移におけるエネルギーなどの実験を行うことも考えられる。</li> </ul>
<p><b>指導</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 内部エネルギーは、分子間力による位置エネルギーと分子のもつ運動エネルギーの和で与えられる。</li> <li>・ 状態変化を表すグラフは、温度対時間または温度対エネルギーを軸にとるものを扱う。</li> <li>・ 冷却の効果は定性的に理解されるべきであるが、冷却補正の計算は必要としない。</li> </ul> <p><b>I B 資料『物理資料集』関連項目</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ <math>Q = mc\Delta T</math></li> <li>・ <math>Q = mL</math></li> </ul>	

【学習のポイント】理想気体の性質から科学者は実際の気体（実在気体）のふるまいを予測することができる。

<p><b>3.2 気体の分子モデル</b></p> <p><b>「科学の本質」(NOS) との関わり</b></p> <p>協力——19世紀の科学者は、熱力学の基礎となる近代的な理論の形成において貴重な進歩を生み出し、さまざまな科学分野、特に化学との関連をも見いだした。複数の科学者により個々に発見された法則の対照的かつ補完的な説明の数々に、科学的方法の効果が顕著にあらわれた。経験的および理論的な思考は両者とも科学において重要な位置を占めるが、これは実在し得ない理想気体と実在気体の比較が役立つことにおいても明らかである。(4.1)</p>	<p><b>理解</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 圧力</li> <li>・ 理想気体の状態方程式</li> <li>・ 理想気体の気体分子運動論</li> <li>・ モル、モル質量、アボガドロ定数</li> <li>・ 理想気体と実在気体の違い</li> </ul> <p><b>知識・スキルの活用</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 理想気体の状態方程式および気体の法則を使い問題を解く。</li> <li>・ 圧力対体積、圧力対温度、体積対温度と軸をとるグラフを描き、理想気体の状態変化を解釈する。</li> <li>・ 気体の法則の少なくとも1つを実験的に調べる。</li> </ul> <p><b>指導</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 気体分子運動論の前提となる仮定の存在に生徒の注意を向けさせることが望ましい。</li> <li>・ 気体の法則の応用は、体積、温度あるいは圧力が一定の理想気体に限る。</li> <li>・ 低圧力、中程度の温度、低密度の条件下の実在気体が理想気体に近いふるまいを見せることを生徒に理解させることが望ましい。</li> </ul>
	<p><b>「知の理論」(TOK)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 「理想」状態のモデルが新たな知識として十分なものと認められるのは、どのような場合だろうか。</li> </ul> <p><b>自然や人間生活との関わり</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 液状または高圧力、高密度での気体の輸送は、世界中で一般的に行われている。これら極端な条件下での実在気体のふるまいは、慎重に考慮される必要がある。</li> <li>・ 「化学」1.3 ——熱力学的過程の考え方は、化学の諸分野において不可欠である。</li> <li>・ 「生物」D.6 ——呼吸の過程</li> </ul> <p><b>ねらい</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ <b>ねらい3</b>：この学習項目は、科学における経験的および理論的な思考の比較に適する。</li> <li>・ <b>ねらい6</b>：気体の法則の確認・アボガドロ定数の計算・学校の実験室では実行不可能な仮定条件下での気体の法則のシミュレーションなどの実験を行うことも考えられる。</li> </ul>

3.2 気体の分子モデル	<p data-bbox="295 1680 327 2049">I B 資料『物理資料集』関連項目</p> <ul data-bbox="335 1747 630 2049" style="list-style-type: none"><li data-bbox="335 1915 406 2049">• <math>p = \frac{F}{A}</math></li><li data-bbox="414 1915 486 2049">• <math>n = \frac{N}{N_A}</math></li><li data-bbox="494 1870 550 2049">• <math>pV = nRT</math></li><li data-bbox="558 1747 630 2049">• <math>\bar{E}_K = \frac{3}{2} k_B T = \frac{3}{2} \frac{R}{N_A} T</math></li></ul>
--------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

【学習のポイント】さまざまな自然現象に現れる単振動を中心に、振動の研究は多くの物理分野を支えている。

#### 4.1 振動

##### 「科学の本質」(NOS) との関わり

モデル——水面の波や、かつては私たちの時間の感覚を支配した振り子の運動など、振動は日々の生活において大きな役割を担っている。深海における水の波から自動車のサスペンションシステムまで、一般化された振動の原則がこの物理分野をつかさどっている。この学習項目では、等時性のない振動も存在することに注意する。単振動に特徴的な数学は、すべての周期的な振動を説明することが可能なため、単振動を調和振動子は特に重要である。(1.10)

##### 理解

- ・ 単振動
- ・ 周期、振動数、振幅、変位、位相差
- ・ 単振動の条件

##### 知識・スキルの活用

- ・ 振動の1周期に起こるエネルギー変化を定性的に説明する。
- ・ 単振動の例をグラフに描き、解釈する。

##### 指導

- ・ 単振動を説明するグラフは、変位—時間、速度—時間、加速度—時間、加速度—変位を軸にとるものを含むべきである。
- ・ 加速度と変位の関係、 $a \propto -x$ 、における負の符号の意味を生徒が理解することが望ましい。

##### IB資料『物理資料集』関連項目

- ・  $T = \frac{1}{f}$

##### 国際的な視野

- ・ 世界中の時間を同期するために国際社会が採用した時間の定義には、振動が使われている。電気の供給、旅行、位置決定機器やマイクロエレクトロニクスなど、日々の生活に大きな影響を与えている。

##### 「知の理論」(TOK)

- ・ 調和振動子は、複雑な現象を簡単な数式によってモデル化する、1つの典例である。モデルが実際の現象を捉えるには単純すぎるかどうかといった判断を、科学者はどのように下しているのだろうか。

##### 自然や人間生活との関わり

- ・ 等時性振動は、時間を測定するために使用することができる。
- ・ ばね振り子、U字管内の液体、海面に浮かび上下に振動する氷山、凹面鏡上を転がる球の動きなど、多くの系は単振動に近似できる。
- ・ 「物理」トピック2——単振動は力学的文脈において頻繁にみられる。

4.1 振動	<p><b>ねらい</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>・ <b>ねらい6</b>：ばね振り子・単振り子・曲線軌道のエアートラック上での動きなどの実験を行うことも考えられる。</li><li>・ <b>ねらい7</b>：コンピュータ技術の使用で単振動を表すモデルを視覚化し、数式の意味を理解するための貴重な洞察を得ることができる。</li></ul>
--------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

**【学習のポイント】** 波は多くの形で存在する。すべての進行波に共通の特徴の1つはエネルギーを伝えることであるが、波が伝搬する媒質に恒久的な変化は現れない。

<p><b>4.2 進行波</b></p> <p><b>「科学の本質」(NOS) との関わり</b></p> <p>パターン、傾向、矛盾——波に共通な特徴は、自然を注意深く観察することでパターン、傾向、矛盾などを探し出し、より深く掘り下げることにより発見された。(3.1)</p>	<p><b>理解</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 進行波</li> <li>・ 波長、振動数、周期、波の速さ</li> <li>・ 横波と縦波</li> <li>・ 電磁波の性質</li> <li>・ 音波の性質</li> </ul> <p><b>知識・スキルの活用</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 横波および縦波が伝わる際の媒質中の粒子の動きを説明する。</li> <li>・ 横波および縦波における変位 - 距離、変位 - 時間、変位 - 時間 - 距離、変位 - 時間 - 距離を軸にとるグラフを描き、解釈する。</li> <li>・ 波の速さ、振動数、波長に関する問題を解く。</li> <li>・ 音速を実験的に調べる。</li> </ul> <p><b>指導</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ <math>c = f\lambda</math> の関係式を生徒自ら導出できるよう指導すること。</li> <li>・ 電波、マイクロ波、赤外線、可視光、紫外線、X線、ガンマ線の波長の桁数の大きさを生徒に理解させることが望ましい。</li> </ul> <p><b>IB資料『物理資料集』関連項目</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ <math>c = f\lambda</math></li> </ul>
<p><b>国際的な視野</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 電磁波は国内外のコミュニケーションに広く使用されている。</li> </ul> <p><b>「知の理論」(TOK)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 波の理論にも見られるが、科学者は具体的であったり視覚化できざる概念の理解を、目に見えない概念の説明に応用することがある。具体的でなく、視覚化をしにくい概念を、科学者はどのように説明するのだろうか。</li> </ul> <p><b>自然や人間生活との関わり</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 音波および電磁波を用いたコミュニケーションには、波の理論が関わっている。</li> <li>・ 「化学」トピック2、「物理」12.1——発光スペクトルが電磁波スペクトルとの比較によって分析される。</li> <li>・ 「生物」A.2——視力</li> </ul>	
<p><b>ねらい</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ <b>ねらい2</b>：物理の多くの分野にわたって適用される波の理論には、共通の知識体系や技術が存在する。</li> <li>・ <b>ねらい4</b>：この学習項目で扱われるいくつかのモデルを一から導くためのデータ解析を行う機会をつくり得る。</li> <li>・ <b>ねらい6</b>：異なる媒質での波の速さ・さまざまな発生源からの電磁波の探知・反響または類似の方法を利用した波の速さ、波長、距離、媒質の弾性または密度の決定などの実験を行うことも考えられる。</li> </ul>	



【学習のポイント】すべての波は、数学的に同じ考え方によって記述することができる。1つの分野に関する深い知識は、別の領域における予測の可能性につながる。

4.3 波の特性	
<p><b>「科学の本質」(NOS) との関わり</b></p> <p>想像力—バイキングは、磁気コンパス導入以前である1300年以上も昔から、氷州石(アイスランドスパー)による偏光を航海に利用していたといわれる。17~19世紀の欧州の科学者は、さらなる理論やモデルの構築をとおして、波の理論の発展への貢献を続けた。(1.4)</p>	<p><b>「知の理論」(TOK)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>波面と射線は、現実の理解を助けるための、物理学に特徴的な視覚化の例である。自然科学に使われる方法論は、人間科学で使われるものとのように異なるだろうか。</li> <li>現実を正確に表現するためには、モデルはどのくらい詳細でなければならぬだろうか。</li> </ul> <p><b>自然や人間生活との関わり</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>液晶ディスプレイなど数々の最新技術は、その動作を偏光に依存している。</li> </ul>
<p><b>理解</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>波面と射線</li> <li>振幅と強度</li> <li>重ね合わせの原理</li> <li>偏光</li> </ul> <p><b>知識・スキルの活用</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>波面と射線を含む図を描き分析する。</li> <li>振幅、強度、逆2乗の法則に関する問題を解く。</li> <li>パルスや波の重ね合わせを描き、解釈する。</li> <li>偏光の方法を説明する。</li> <li>偏光、反射光、透過光を示す図を描き、解釈する。</li> <li>マリユスの法則に関する問題を解く。</li> </ul> <p><b>指導</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>2つの波やパルスの合成波を、グラフおよび代数を用いて計算することが生徒に求められる。</li> <li>偏光の方法は、偏光フィルターおよび非金属平面上での反射に限る。</li> </ul> <p><b>I B 資料『物理資料集』関連項目</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><math>I \propto A^2</math></li> <li><math>I \propto x^{-2}</math></li> <li><math>I = I_0 \cos^2 \theta</math></li> </ul>	<p><b>ねらい</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>ねらい3</b>：これら波の基本的なふるまいは、後により高度な学習項目において適用され、さまざまな種類の波を一般化することに役立つ。</li> <li><b>ねらい6</b>：マイクロ波の使用を含むさまざまな条件下での偏光の観測・波の重ね合わせ・スリッキーなどの用具を使用した波形の表現などの実験を行うことも考えられる。</li> <li><b>ねらい7</b>：コンピュータ上でのモデリングは、波の動きを3次元で観察することを可能にすると同時に、波の特徴を正確に調整しながら、重ね合わせの原理などを例示することもできる。</li> </ul>

【学習のポイント】波同士や波と媒質の間で起こるさまざまな相互作用は、ときに思いがけないふりを見せるが有用である。

<p><b>4.4 波のふるまい</b></p> <p><b>「科学の本質」(NOS) との関わり</b></p> <p>競合理論——光の理論をめぐるホイヘンスとニュートンの対立や、フレネル、アラゴ、ポアソンの間で起きた議論は、部分的には正しいが不完全で欠陥の存在する2つの理論の競合の実例を示す。これは、光の二重性の受け入れに至るまでの科学の進歩の歴史の一例である。(1.9)</p>	<p><b>理解</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 反射と屈折</li> <li>・ スネルの法則、臨界角、全反射</li> <li>・ 単スリットおよび障害物による回折</li> <li>・ 干渉縞</li> <li>・ 二重スリットによる干渉</li> <li>・ 光路差</li> </ul> <p><b>知識・スキルの活用</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 媒質の境界面における入射波、反射波と透過波の関係を描き、解釈する。</li> <li>・ 平面状の境界面における反射に関する問題を解く。</li> <li>・ スネルの法則、臨界角、全反射に関する問題を解く。</li> <li>・ 屈折率を実験から求める。</li> <li>・ 平面波が単スリットに対し直角に入射する場合に現れる回折像を定性的に説明する。</li> <li>・ 二重スリットによる干渉強度分布を定量的に説明する。</li> </ul> <p><b>指導</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 屈折率の定量的な説明は、2つ以上の透明媒質の間を進む光に限る。媒質が3つ以上の場合は、境界面が互いに平行の条件のみを扱う。</li> <li>・ 二重スリットに関連する式の導出は生徒に求めない。</li> <li>・ さまざまな波による回折と干渉による模様を生徒が観察する機会をつくることが望ましい。</li> </ul>
<p><b>国際的な視野</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 波の特徴的なふるまいは、科学の夜明けへとつながった神話や伝説などとも密接に関わるなど、歴史上さまざまな文明において意味をもってきた。</li> </ul> <p><b>「知の理論」(TOK)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ ホイヘンスとニュートンは、競合する光の理論をそれぞれ提案した。科学の世界では、理論の競合はどのように解決されるだろうか。</li> </ul> <p><b>自然や人間生活との関わり</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 人工衛星から送られる電波の受信が可能な区域は、衛星上のアンテナでの回折現象により決まる。</li> <li>・ 光の屈折および反射の応用は、単純な平面鏡から内視鏡まで多岐にわたる。このような応用は、私たちの視覚を向上させたり、その限界を広げることが可能にした。</li> <li>・ 2つの表面から反射したコヒーレント光における相殺的干渉という簡単なアイデアは、コンパクトディスクやその後続技術など、光学記憶装置の発展へとつながった。</li> <li>・ 虹の物理的な説明には屈折および全反射が用いられる。主虹の他に現れる縞模様である過剰虹の説明には、回折など光の波としての性質が必要とされる。</li> </ul>	

## 4.4 波のふるまい

## I B 資料『物理資料集』関連項目

- $\frac{n_1}{n_2} = \frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} = \frac{v_2}{v_1}$
- $s = \frac{\lambda D}{d}$
- 強め合う干渉：光路差  $= n\lambda$
- 弱め合う干渉：光路差  $= (n + \frac{1}{2})\lambda$

## ねらい

- **ねらい1**：この学習項目の歴史的側面はいままでに重要であり、過去の科学者の功績に対する貴重な洞察を与えてくれる。
- **ねらい6**：屈折率の計算とスネルの法則の応用・全反射の条件の計算・開口部や障害物による回折模様の観察・二重スリット実験などを行うことも考えられる。
- **ねらい8**：デジタル化されたデータの永続化による、使用量や記憶容量の増加は、個人情報保護の問題に影響をもたらす。

【学習のポイント】進行波が重ね合わさると、エネルギーを伝えない定常波に合成されることがある。

<p>4.5 定常波</p> <p>「科学の本質」(NOS) との関わり</p> <p>一般的な推論のプロセス——ピタゴラス以降、弦や気柱における定常波の形成は数学的にモデル化され、他の振動系とも関連づけられてきた。気体での音波や光を考える場合、定常波において起こるプロセスを理解するための視覚化が可能である。(1.6)</p>	<p><b>国際的な視野</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>音楽は過去と現在のすべての文化において普遍的な芸術であり、その科学的な基礎は、この学習項目で扱われる概念に基づく。多くの楽器は、定常波の生成および操作に大きく依存している。</li> </ul> <p>「知の理論」(TOK)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>弦上での定常波と原子における電子の存在確率に関するシュレディンガーの理論の間には、密接な関係が存在する。超弦理論においては、11次元上で定常波が応用される。私たちの物理的な感知能力を超えたシナリオを科学者が視覚化する上で、理性や想像力はどのような役割を担うだろうか。</li> </ul> <p><b>自然や人間生活との関わり</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>音楽を学んでいる生徒には、自らの経験と波の関連を物理の授業で立てることをすすめるべきである。</li> </ul> <p><b>ねらい</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>ねらい3</b>：過去の科学者や音楽家が使ったテクニックを生徒が用いることで、定常波に節と腹が現れる場所を物理的に観察したり定性的に測ることもできる。</li> <li><b>ねらい6</b>：スリンキーなどの物体を通じての定常波の観察・水と気柱を使った共鳴する気柱の長さの予測・音叉の周波数の決定・バイオリンやギターにおける弦の振動の観測や測定などの実験を行うことも考えられる。</li> <li><b>ねらい8</b>：定常波の応用における国際的な側面は、音楽にとつて重要である。</li> </ul>
<p><b>理解</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>定常波の性質</li> <li>境界条件</li> <li>節と腹</li> </ul> <p><b>知識・スキルの活用</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>重ね合わせの観点から定常波の性質および形成を説明する。</li> <li>定常波と進行波を区別する。</li> <li>ひもや気柱における定常波を観察して描き、解釈する。</li> <li>倍振動している定常波の振動数、波長、波の速さに関する問題を解く。</li> </ul> <p><b>指導</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>重ね合わせによる定常波の形成では、生徒は2つの波の合成のみを考えればよく、3つ以上の合成は扱わない。</li> <li>弦における境界条件は、両端を閉じた管、一方が閉じた管(閉管)、両端が開いた管(開管)など、可能なすべての組み合わせを扱う。</li> <li>気柱における境界条件は、両端を閉じた管、閉管、開管など、可能なすべての組み合わせを扱う。</li> <li>気体での定常波において、圧力による節と腹を使った説明は必要としない。</li> <li>定常波において振動数が最小となる場合は基本振動と呼ばれる。</li> <li>基本音および倍音という用語は、試験問題では使わない。</li> </ul>	

【学習のポイント】電荷の移動により電流が生成される。

### 5.1 電場

#### 「科学の本質」(NOS) との関わり

モデル化——電気の理論は、巨視的な観察から（キャリアのふるまいを説明する）微視的なモデルを構築する際の科学的な考え方を示している。微視的な性質が未知で観測不可能だった時代に始まる科学的アイデアの発展や改良の歴史に過去の科学者による思考の深さの証を見ることができる。（1.10）

#### 理解

- ・ 電荷
- ・ 電場
- ・ クーロンの法則
- ・ 電流
- ・ 直流
- ・ 電位差

#### 知識・スキルの活用

- ・ 電荷の正負の区別と、電荷の間に生じる力の向きを特定する。
- ・ 電場とクーロンの法則に関する問題を解く。
- ・ ジュールおよび電子ボルトの単位を使い電場での仕事量の計算をする。
- ・ 金属中のキャリア（電流の担い手）の符号と性質を見きわめる。
- ・ キャリアの移動速度を特定する。
- ・ オームの法則と移動速度に関する問題を解く。
- ・ 電流、電位、電荷に関する問題を解く。

#### 国際的な視野

- ・ 電気とその利点は、社会に圧倒的な変革をもたらした。
- ・ 「知の理論」(TOK)
- ・ 金属中のキャリアには、当時の科学者により正の符号が与えられた。しかし、後の負の電荷をもつ電子の発見は、電流の向きが電子の動きと逆になるという慣習的な決まりへとつながった。この進展は、考え方の大きな変化の解決方法として適切だっただろうか。科学知識の発展においてパラダイムシフトはどのような役割を果たすだろうか。

#### 自然や人間生活との関わり

- ・ 「化学」選択項目C、「物理」トピック11——ある場所から別の場所へのエネルギーの伝達
- ・ 「物理」トピック8、「化学」選択項目トピックC2——発電の環境への影響
- ・ 「物理」トピック10——電場と重力場の比較

5.1 電場	
<p><b>指導</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>さまざまな誘電率の値を前提としたクーロンの法則の応用をすることが生徒に期待される。</li> </ul> <p><b>I B 資料『物理資料集』関連項目</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><math>I = \frac{\Delta q}{\Delta t}</math></li> <li><math>F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}</math></li> <li><math>k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}</math></li> <li><math>V = \frac{W}{q}</math></li> <li><math>E = \frac{F}{q}</math></li> <li><math>I = nAvq</math></li> </ul>	<p><b>ねらい</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>ねらい2</b>：電気の理論は、近代的な科学と工学の中心に存在する。</li> <li><b>ねらい3</b>：電気の理論の進歩は、計り知れない変化を社会にもたらしている。</li> <li><b>ねらい6</b>：セモリナなどを使用した電場の影響を示すデモ・1つや複数の点電荷による電場のシミュレーションなどの実験を行うことも考えられる。</li> <li><b>ねらい7</b>：コンピューターシミュレーションを使用することで、教室内で可能な実験では困難な微視的相互作用を生徒自ら測定することができる。</li> </ul>

【学習のポイント】電気の最も初期の用途の1つは、光と熱の生成だった。この技術は、現在も人びとの生活に大きな影響を与え続けている。

5.2 電流の発熱効果	
<p><b>「科学の本質」(NOS) との関わり</b></p> <p>査読——オームとバローウは電流の性質に関する発見をほぼ同時に発表したものの、オームの説はほとんど信じられなかった。バローウの誤った法則は、批判にさらされることも深く追求されたこともなかった。あまり数学的でなかったドイツの物理学や、バローウが崇められていた当時のイギリス学会の様子を反映したこの歴史は、認められた学術誌で研究成果を発表することや、査読の必要性を示している。(4.4)</p>	<p><b>国際的な視野</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>科学や工学において、異なる文化を背景にもつ複数の物理学者が容易にアイデアを伝え合うことを可能にするためには、標準的な記号が必要とされる。</li> </ul> <p><b>「知の理論」(TOK)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>電気の研究の初期において、知覚はさまざまな電源による影響を分類するために重要であったが、これは実験者の身の安全に影響を与える可能性など、危険にも満ちている。知覚を倫理的かつ安全に科学研究へ利用することは、現在でも可能だろうか。</li> </ul> <p><b>自然や人間生活との関わり</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>電気回路の使用には無限の用途が存在するが、発熱と照明がもつとも普及している例である。</li> <li>電位差や電流にみられる小さな変化を測定する検出器には、注意深く設計された回路や高精度な部品が必要とされる。</li> </ul> <p><b>ねらい</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>ねらい2</b>：電気の理論とその巨視的及び微視的効果を考えるアプローチは、自然を分析し理解する手法の特徴的な一面である。</li> <li><b>ねらい3</b>：電気を扱う技法は、実用的なものでも、理論的なものでも、比較的簡単に取り組みことができ、生徒が物理学的な考え方の感覚を身につける機会となる。</li> </ul>
<p><b>理解</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>回路図</li> <li>キルヒホッフの法則</li> <li>電流の発熱効果とその結果</li> <li><math>R = \frac{V}{I}</math> として表された電気抵抗</li> <li>オームの法則</li> <li>抵抗率</li> <li>電力の損失</li> </ul> <p><b>知識・スキルの活用</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>回路図を描き分析する。</li> <li>電流—電圧特性のグラフを使ってオーム抵抗および非オーム抵抗を識別する。</li> <li>電位差、電流、電荷、キルヒホッフの法則、電力、抵抗および抵抗率に関する問題を解く。</li> <li>並列および直列に接続された抵抗を調べる。</li> <li>理想的および非理想的な電流計や電圧計の説明をする。</li> <li>直列接続した抵抗に比べた場合の長所を含んだ、簡単な回路における分圧器(電圧分配器)の実用途を説明する。</li> <li>抵抗に影響を与える複数の要因を実験的に調べる。</li> </ul>	

5.2 電流の発熱効果	
<p><b>指導</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 白熱電球は非オーム抵抗と説明するべきで、一定温度での金属線はオーム抵抗である。</li> <li>・ 非理想的な電圧計は、抵抗値が一定で無限大でないものだけを扱う。</li> <li>・ 非理想的な電流計は、抵抗値が一定で非ゼロのものだけを扱う。</li> <li>・ キルヒホッフの法則を適用するのは、電源をもつループを最大2つもつ回路にのみ限る。</li> </ul> <p><b>IB資料『物理資料集』関連項目</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ キルヒホッフの法則：             <math display="block">\Sigma V = 0 \text{ (閉路)}</math> <math display="block">\Sigma I = 0 \text{ (節点)}</math> </li> <li>・ <math>R = \frac{V}{I}</math></li> <li>・ <math>P = VI = I^2R = \frac{V^2}{R}</math></li> <li>・ <math>R_{\text{total}} = R_1 + R_2 + \dots</math></li> <li>・ <math>\frac{1}{R_{\text{total}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots</math></li> <li>・ <math>\rho = \frac{RA}{L}</math></li> </ul> <p>・ 電気用図記号は、IB資料『物理資料集』4ページを参照すること。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ <b>ねらい6</b>：歴史的に重要な装置としての熱線電流計の使用・一定温度での導線、白熱電球、またはグラファイト鉛筆など、さまざまな導体の抵抗率の比較・紙面の鉛筆マークの厚さの決定・オーム抵抗および非オーム抵抗導体の性質の調査・抵抗をもつ導線をテーパーで温度計に巻きつけ、導線の抵抗を電流や温度と関連づけるなどの実験を行うことも考えられる。</li> <li>・ <b>ねらい7</b>：簡単または複雑な回路におけるさまざまな素子の効果を手早く調べるための回路設計ソフトウェアやウェブサイトに多数存在する。</li> </ul>



【学習のポイント】電池は、エネルギーを化学的に蓄積することを可能にする。

<p><b>5.3 電池</b></p> <p>【科学の本質】(NOS)との関わり 長期的なリスク——科学者は、より長期間使用可能なエネルギー密度の高い電池の開発と、使用後の化学廃棄物に伴う長期的なリスクのバランスを考へる必要がある。(4.8)</p>	<p><b>理解</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>電池</li> <li>内部抵抗</li> <li>二次電池</li> <li>電極電位</li> <li>起電力</li> </ul> <p><b>知識・スキルの活用</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>実用的な一次電池および二次電池を調べる。</li> <li>簡単な電池の放電特性（電極間の電位差の経時変化）を説明する。</li> <li>電池の再充電に必要な電流の流れの方向を特定する。</li> <li>内部抵抗を実験的に求める。</li> <li>起電力、内部抵抗およびその他の電気に関連した物理量に関する問題を解く。</li> </ul> <p><b>指導</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>典型的な実用電池の電極間の電位は、使用開始時に急減した後の利用期間中はほぼ安定して一定値を保つが、残量がなくなると再度急減するといった特性があることを、生徒に学習させるべきである。</li> </ul> <p><b>I B 資料『物理資料集』関連項目</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><math>\epsilon = I(R + r)</math></li> </ul>
<p><b>国際的な視野</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>蓄電池（による電気の貯蔵）は、ポータブル機器、交通機関、および医療施設の予備電源としての利用など、社会にとって重要である。</li> </ul> <p><b>「知の理論」(TOK)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>蓄電池（による電気の貯蔵）は、廃棄の際に環境問題を引き起こす可能性があるものの、社会にとって概して有用と考えられている。科学者は自らの発明や発見の結果による長期的な影響に対し、道義的な責任を負うべきだろうか。</li> </ul> <p><b>自然や人間生活との関わり</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>「化学」 9.2, C.6——電池の化学的性質</li> </ul> <p><b>ねらい</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>ねらい6</b>：さまざまな材料を陽極、陰極、および電解質に使った簡単な電解セルの研究・ソフトウェアを使用したの電池設計の研究・さまざまな電池の寿命の比較などの実験を行うことも考えられる。</li> <li><b>ねらい8</b>：電池技術は、全国電力網（および関連する炭素排出の諸問題）の影響なく電気の供給を可能にするが、電池や化学物質の安全な廃棄には、土地と水の汚染問題が伴いやすい。</li> <li><b>ねらい10</b>：電池技術の改善は、化学者との協力で行われてきた。</li> </ul>	

【学習のポイント】 科学者が磁気と呼ぶ効果は、ある電荷が他の電荷の近くを移動する際に発生する。

<p><b>5.4 電流が磁場から受ける力</b></p> <p>「科学の本質」(NOS) との関わり</p> <p>モデルと視覚化——磁気線は磁場の視覚化に大変有用である。歴史を振り返ると、磁力線の利用は、電荷の相対的な移動による相互作用が相対性理論へと結びつく関連を、科学者や技術者が理解する上での助けとなった。(1.10)</p>	<p><b>国際的な視野</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>磁気は、人間によってもっとも古くから研究されてきた現象の1つであり、数千年前より、地中海などの航海において利用されていた。</li> <li>磁場のパターンは、この複雑な現象を理解するために不可欠な視覚化の方法をもたらし、同様に、現実をより単純に視覚化した地図のようなものとして知識を捉えることには、どのような利点があるだろうか。</li> </ul> <p><b>自然や人間生活との関わり</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>数百年にわたり頼られてきた磁気コンパスが新たな技術によって置き換えられたのは、比較的最近のことである。</li> <li>現代の医療用スキャナーには、超伝導体を使った装置から発生する、強力で一定な磁場に頼るものも多い。</li> <li>欧州原子核研究機構の大型ハドロン衝突型加速器のような粒子加速器は、粒子線の軌道調整にさまざまな磁石を使用している。</li> </ul> <p><b>ねらい</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>ねらい2・ねらい9</b>：視覚化は、しばしば磁場のはたらきに関する洞察を提供してくれるが、限界も存在する。</li> <li><b>ねらい7</b>：コンピュータ上でのシミュレーションは、3次元空間における電磁場の視覚化を可能にする。</li> </ul>
<p><b>理解</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>磁場</li> <li>磁力</li> </ul> <p><b>知識・スキルの活用</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>磁場中を移動する電荷にはたらく力の方向を求め、</li> <li>磁場中の電線にはたらく力の方向を求め、</li> <li>磁場の様子を描き分析する。</li> <li>電流の方向から磁場の方向を求め、</li> <li>磁力、磁場、電流、および電荷に関する問題を解く。</li> </ul> <p><b>指導</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>磁場の様子は、導線、ソレノイド、および棒磁石によるものに限る。</li> </ul> <p><b>I B 資料『物理資料集』関連項目</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><math>F = qvB \sin \theta</math></li> <li><math>F = BIL \sin \theta</math></li> </ul>	

## トピック6 —— 円運動と万有引力

5時間

【学習のポイント】円運動は、変位に対して垂直にはたらく力により引き起こされる。

<p>6.1 円運動</p>	<p>「科学の本質」(NOS) との関わり 観測可能な宇宙——観測とその後の推論により、すべての円運動において、円の中心にはたらく力がはたらくことが認識された。(1.1)</p>	<p><b>国際的な視野</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>宇宙開発プログラムのための効率的なロケット発射拠点の開発には国際協力が欠かせない。</li> <li>フーコーの振り子から、直接観測しにくい地球の自転の証拠を簡単に得られる。直接観測できない現象に関する知識は、どのようにして得られるだろうか。</li> </ul> <p><b>自然や人間生活との関わり</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>「物理」5.4——磁場における荷電粒子の運動</li> <li>「化学」2.1、11.3——質量分析法</li> <li>遊び場や遊園地の乗り物は、円運動の原理を用いるものも多い。</li> </ul> <p><b>ねらい</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>ねらい6</b>：ひもについたおもり・宙返りを含むジェットコースターでの体験の観察と定量化・ターンテーブル上の質量の摩擦などの実験を行うことも考えられる。</li> <li><b>ねらい7</b>：技術の進歩は、データロガーによる力の測定や、運動する物体のビデオによる解析など、円運動のより正確な測定を可能にしている。</li> </ul>
<p><b>理解</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>周期、回転数、角変位、角速度</li> <li>向心力</li> <li>向心加速度</li> </ul> <p><b>知識・スキルの活用</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>張力、摩擦力、重力、または電磁力など、向心力となる力を特定する。</li> <li>向心力、向心加速度、周期、回転数、角変位、速さ、および角速度に関する問題を解く。</li> <li>水平面および鉛直面における円運動を定性的および定量的に説明する。</li> </ul> <p><b>指導</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>斜面の影響は、定性的に扱うのみでよい。</li> </ul>	<p><b>IB資料『物理資料集』関連項目</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><math>v = \omega r</math></li> <li><math>a = \frac{v^2}{r} = \frac{4\pi^2 r}{T^2}</math></li> <li><math>F = \frac{mv^2}{r} = m\omega^2 r</math></li> </ul>	

【学習のポイント】 2つの球体の間にはたらく万有引力と古典力学的な法則のモデルを使い、惑星運動を計算することができる。

6.2 ニュートンの万有引力の法則	
<p><b>「科学の本質」(NOS) との関わり</b></p> <p>法則——ニュートンの万有引力と力学の法則は、決定論的な古典物理学の基盤をなす。これらは運動の予測に使うことができるが、観測された現象が起る理由までは説明できない。(2.4)</p>	<p><b>「知の理論」(TOK)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 力学と万有引力の法則は、古典物理学の決定論的な性質へとつながった。古典物理学と現代物理学は両立するだろうか。他の領域の発展の歴史においても同様な対立がみられるものは存在するだろうか。</li> </ul> <p><b>自然や人間生活との関わり</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 万有引力の法則は、人工衛星、惑星、月などの衛星、および銀河の運動などを説明する上で不可欠である。</li> <li>・ 「物理」 5.1——クーロンの法則との比較</li> </ul> <p><b>ねらい</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ <b>ねらい4</b>：重力の理論と他の力学の法則は、惑星運動の細かな予測を可能にする。</li> </ul>
<p><b>理解</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ ニュートンの万有引力の法則</li> <li>・ 重力場の強さ</li> </ul> <p><b>知識・スキルの活用</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 重力と向心力の関係を説明する。</li> <li>・ 質点を中心に回転運動する物体にニュートンの万有引力の法則を応用する。</li> <li>・ 重力、重力場の強さ、軌道速度、および軌道周期に関する問題を解く。</li> <li>・ 2つの物体により生じる重力場の強さを求める。</li> </ul> <p><b>指導</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ ニュートンの万有引力の法則は均一な密度の球体にも応用することが望ましく、その際は全質量が中心に凝縮されていると見なす。</li> <li>・ ある位置における重力場の強さは、質点にはたらく単位質量あたりの力を表す。</li> <li>・ 重力場の合成の計算では、2つの物体を結ぶ直線上の位置における重力場の強さのみを扱う。</li> </ul> <p><b>I B 資料『物理資料集』 関連項目</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ <math>F = G \frac{Mm}{r^2}</math></li> <li>・ <math>g = \frac{F}{m}</math></li> <li>・ <math>g = G \frac{M}{r^2}</math></li> </ul>	

【学習のポイント】 微小な世界のエネルギーは離散的である。

### 7.1 とびとびのエネルギーと放射能

#### 「科学の本質」(NOS) との関わり

偶然の発見——放射能は、ベクレルが放射性の鉱物に誤って曝露された写真乾板を現像したときに偶然発見されたとされる。乾板に偶然現れた模様は、普通の人間であれば見過ごしてしまうところだが、ベクレルは模様の出現と放射性鉱物の存在に相関を見だし、より深く追求したことが発見につながった。(1.4)

#### 理解

- とびとびのエネルギーとエネルギー単位
- エネルギー単位間の遷移
- 放射性崩壊
- 四つの力とその性質
- アルファ粒子、ベータ粒子、ガンマ線
- 半減期
- 放射線の吸収特性
- 同位体
- 背景放射

#### 知識・スキルの活用

- 身近な気体の発光スペクトルや吸収スペクトルを説明する。
- 原子遷移によって放出された光子の波長の計算など、原子スペクトルに関する問題を解く。

#### 国際的な視野

- 核兵器の存在は、過去60年以上にわたり世界情勢に大きな影響を与えている。

#### 「知の理論」(TOK)

- 科学においては、偶然や運に端を発する発見も、科学的好奇心によるさらなる追求が伴ってこそ成り立つものである。偶然の産物と思われている発見は、理性や直観による結果として、どの程度捉え直されるべきだろうか。

#### 自然や人間生活との関わり

- 放射能、放射性物質および放射性崩壊の法則に関する知識は、放射線医学において重要である。
- 「物理」 8.1 ——放射性廃棄物の処理は、原子力発電に関する議論において重要な課題である。

7.1 とびとびのエネルギーと放射能	
<ul style="list-style-type: none"> <li>・ アルファ崩壊およびベータ崩壊における原子核反応式を完成させる。</li> <li>・ 崩壊曲線から核種の半減期を求めろ。</li> <li>・ 半減期を実験またはシミュレーションにおいて探る。</li> </ul> <p><b>指導</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 放射性崩壊の問題では、整数の半減期のみを生徒に扱わせる。</li> <li>・ ベータ崩壊式では、ニュートリノおよび反ニュートリノを含むことを生徒に学習させる。</li> </ul> <p><b>I B 資料『物理資料集』関連項目</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ <math>E = hf</math></li> <li>・ <math>\lambda = \frac{hc}{E}</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 「生物」5.1 ——放射性炭素年代測定法は、進化論の証拠を示すために用いられている。</li> <li>・ 「数学スタディーズSL」6.4 および「数学HL」2.4——指数関数</li> </ul> <p><b>ねらい</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ <b>ねらい8</b>：研究過程では、放射性物質の使用が環境に悪影響を及ぼさないよう常に配慮しなければならない。</li> <li>・ <b>ねらい9</b>：放射性物質の利用には、安全に放射性物質を扱うための実験の練習や手順を確実にを行うことが必要である。</li> </ul>

【学習のポイント】質量とエネルギーの間にある等価性により、核崩壊および核反応においてはエネルギーが放出されることがある。

7.2 核反応	
<p>「科学の本質」(NOS) との関わり</p> <p>パターン、トレンド、矛盾——核子あたりの結合エネルギーを表すグラフおよび中性子数対陽子数のグラフには、紛れもないパターンが現れる。これらのパターンやトレンドは、同位体の特性をグラフに現れるパターンから予測することを可能にした。(3.1)</p>	
<p><b>理解</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>原子質量単位</li> <li>質量欠損と核結合エネルギー</li> <li>核分裂と核融合</li> </ul> <p><b>知識・スキルの活用</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>質量欠損と核結合エネルギーに関する問題を解く。</li> <li>放射性崩壊、核分裂、および核融合において放出されるエネルギーに関する問題を解く。</li> <li>質量数の関数としての核子あたりの平均核結合エネルギーの変化を表す大まかな曲線を描き分析する。</li> </ul>	<p><b>「知の理論」(TOK)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>質量とエネルギーの等価性の認識は、物理学に大きなパラダイムシフトをもたらし、パラダイムシフトは、科学の方向をどのようにに変化させてきただろうか。他の分野で、同様に大きなパラダイムシフトが起こったことはあるだろうか。</li> </ul> <p><b>自然や人間生活との関わり</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>核エネルギーの理解は、核による電気の生成方法へとつながったが、非常に破壊的な兵器の開発にもつながった。</li> <li>「化学」選択項目 C.3、C.7——核反応の化学</li> </ul> <p><b>ねらい</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>ねらい5</b>：原子力発電の使用に関する諸問題は、科学者たちの国境をこえた協力を必要とする。</li> <li><b>ねらい8</b>：原子力発電と核兵器の開発は、倫理的、道徳的に深刻な問題を提起する。何者かが原子力発電や核兵器をもつことが許されるなら、そのような決定は誰が行うべきだろうか。さらに、原子力発電所から出る核廃棄物は、深刻な環境問題も引き起こしている。</li> </ul>
<p><b>指導</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>質量または結合エネルギーを使った核反応における変化の計算を生徒に学習させる。</li> <li>結合エネルギーは、すべての核子を完全に分離するために必要なエネルギー、あるいはそれぞれの核子から1つの核が形成されるときに放出されるエネルギーとして定義することができる。</li> </ul> <p><b>I B 資料『物理資料集』関連項目</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><math>\Delta E = \Delta mc^2</math></li> </ul>	

**【学習のポイント】** すべての物質は、クォークおよびレプトンと呼ばれる基本粒子から構成されると考えられている。核子を構成するクォーク、原子核を構成する核子、原子を構成する原子核と電子、分子を構成する原子など、物質は階層構造をもつことが知られている。この階層構造においての最小の構成要素はクォークとレプトンである ( $10^{-18}$  m)。

<p><b>7.3 物質の構造</b></p> <p><b>「科学の本質」(NOS) との関わり</b></p> <p>予測——現在の私たちの物質の理解は、それぞれ6種類のクォークとレプトンからなる標準模型と呼ばれている。クォークは、粒子の特性に見られるパターンを説明することを目的に、純粹に数学的な枠組みの上で想定された。(1.9)</p> <p>協力——提唱された基礎粒子が、共同研究による大規模な実験によって実際に発見されたのは、かなり後のことであった。(4.3)</p>	<p><b>国際的な視野</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>素粒子物理学の実験研究に必要な費用は増加し続けており、各国政府や国際研究機関において財源の公平な配分の仕方について議論が行われている。</li> </ul> <p><b>「知の理論」(TOK)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>基本粒子の存在を信じることは、他の学問分野に比べ、物理学が本質的により重要な分野であると見なすことを正当化するだろうか。</li> </ul> <p><b>自然や人間生活との関わり</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>「物理」選択項目 D.3、D.4——宇宙が迎える最期の運命を知るには素粒子物理学の理解が不可欠である。</li> </ul> <p><b>ねらい</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>ねらい1</b>：物質の基本的な構造に関する研究は国際的であり関係者にとって刺激的でやりがいのある冒険である。</li> <li><b>ねらい4</b>：素粒子物理学では非常に大量のデータの分析が行われる。</li> </ul>
<p><b>理解</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>クォーク、レプトン、およびその反粒子</li> <li>ハドロン、バリオン、中間子</li> <li>電荷、バリオン数、レプトン数、ストレンジネスの保存則</li> <li>強い相互作用、弱い相互作用、および電磁力の性質と影響範囲</li> <li>ゲージ粒子</li> <li>ファインマン・ダイアグラム</li> <li>閉じ込め</li> <li>ヒッグス粒子</li> </ul> <p><b>知識・スキルの活用</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>原子核の発見につながるラザフォード散乱を観測したガイガー＝マースデンの実験を説明する。</li> <li>粒子の相互作用において、さまざまな保存則を応用する。</li> <li>クォークを用いて陽子や中性子の構造を説明する。</li> </ul>	



7.3 物質の構造

- ・ 重力を含む四つの力の強さを比較する。
- ・ ゲージ粒子による四つの力の媒介を説明する。
- ・ 簡単なファインマン・ダイアグラムを描き、解釈すること。
- ・ クォークはなぜ観測されないのかを説明すること。

指導

- ・ 標準模型の定性的な説明は必須とする。

I B 資料『物理資料集』関連項目

電荷	クォーク	バリオン数
$\frac{2}{3}e$	u c t	$\frac{1}{3}$
$-\frac{1}{3}e$	d s b	$\frac{1}{3}$

ストレンジネス-1をもつストレンジクォークを除き、すべてのクォークのストレンジネスはゼロである。

電荷	レプトン
-1	e μ τ
0	$\nu_e$ $\nu_\mu$ $\nu_\tau$

すべてのレプトンは+1, および反レプトンは-1のレプトン数をもっている。

- ・ **ねらい6**：衝突半径の関数としてのアルファ粒子の散乱角、または初期運動エネルギーの関数としての最近接距離を生徒に調べさせることもできる。
- ・ **ねらい8**：政府や研究機関は、素粒子物理研究に使われる費用が、他の分野の研究や社会的ニーズへまわされるべきではないか問われることが多い。

作用する粒子	重力相互作用	弱い相互作用	電磁相互作用	強い相互作用
力を伝達する粒子	すべて 重力子	クォーク, レプトン $W^+, W^-, Z^0$	電荷粒子 $\gamma$	クォーク, グルーオン グルーオン

## トピック8 — エネルギー生産

8 時間

**【学習のポイント】** 新たなエネルギー源を求め続ける需要の存在は、深刻な環境問題へとつながる判断を迫りかねない。化石燃料の有限さと地球温暖化への影響は、代替エネルギー源の開発へとつながっている。この分野では技術革新が急速に進んでいる。

## 8.1 エネルギー源

## 「科学の本質」(NOS) との関わり

リスク評価と問題解決 — 昔から人類はエネルギー活用の重要性を理解し、実際に大規模な電気生産は社会の隅々へ大きな影響を与えてきた。エネルギーがさまざまに変換される過程では、多くの領域にわたる広い知識を応用する大局的なアプローチが必要とされる。代替エネルギー源に関する研究開発への支援は、経済的および政治的な理由により国によっては乏しいところもある。それでもなお科学者は、社会の枯渇性エネルギーへの依存を減らすため、研究における協力や新技術の共有を続けている。(4.8)

## 理解

- 燃料源の比エネルギー (質量あたりのエネルギー) とエネルギー密度
- サンキー・ダイアグラム
- 一次エネルギー源
- 二次エネルギーおよび柔軟なエネルギー形態としての電気
- 再生可能エネルギー源と枯渇性エネルギー源

## 知識・スキルの活用

- 比エネルギーおよびエネルギー密度に関する問題を解く。
- サンキー・ダイアグラムを描き、解釈する。
- 火力発電所、原子力発電所、風力発電機、揚水発電機、および太陽光発電の基本的な機能を説明する。
- 前述の生産システムにおけるエネルギー変換に関する問題を解く。

## 国際的な視野

- 化石燃料からのエネルギー生産は、私たちの住む世界全体に明らかかな影響を与えているため、グローバルな思考を必要とする。化石燃料の地理的な集中は、政治的な紛争や経済的不平等につながっている。代替エネルギー源によるエネルギー生産には、新たなレベルでの国際協力が望まれる。

## 「知の理論」(TOK)

- 原子力エネルギーの利用は、科学者や社会の間に感情的な議論を呼び起こす。感情に流されやすいテーマにおいての科学的に正確なりリスク評価は、どのように行うべきだろうか。

## 自然や人間生活との関わり

- 「物理」5.4、11.2 — 発電機およびエンジンは世界に革命をもたらした。

<p><b>8.1 エネルギー源</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>原子力発電における安全性の問題やリスクを議論する。</li> <li>太陽電池と太陽熱パネルの違いを説明する。</li> </ul> <p><b>指導</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>比エネルギーは <math>\text{J kg}^{-1}</math> の単位をもち、エネルギー密度は <math>\text{J m}^{-3}</math> の単位をもつ。</li> <li>原子力発電所の基本的な機能の説明には、制御棒、減速材、および熱交換器を含むこと。</li> <li>風力発電の式の導出自体は必須ではないが、関連する仮定と限界の認識は必要である。</li> <li>この手引きでは扱われていない新たに開発中の技術でも、近い将来重要となりそうなものは生徒に学習させること。</li> </ul> <p><b>IB 資料『物理資料集』関連項目</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>仕事率 = <math>\frac{\text{エネルギー}}{\text{経過時間}}</math></li> <li>仕事率 = <math>\frac{1}{2} A v^3</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>「物理」 3.2、5.4、B.2——代替エネルギー源を支える技術は、さまざまな物理学的領域から影響を受けている。</li> <li>「化学」 C.1——エネルギー密度</li> <li>「生物」 4.3——炭素循環</li> </ul> <p><b>ねらい</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>ねらい4</b>：電力の生産には多くの異なる科学分野が関わるため、科学的知識の学際的な応用や評価をする能力が必要とされる。</li> <li><b>ねらい8</b>：エネルギー生産は、経済、環境、道徳、倫理など広い領域に関わる。</li> </ul>
--------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

【学習のポイント】モデルを簡単にするため、地球は黒体放射体、大気は灰色体として扱う。

<p><b>8.2 熱エネルギーの伝達</b></p> <p><b>「科学の本質」(NOS) との関わり</b></p> <p>モデルの単純さと複雑さ——気体の運動論は、実気体のふるまいを十分に近似するための、簡単な数学的モデルである。科学者は、はるかに複雑である地球の気候のモデル化も試みている。有効なデータの増加、より複雑なプロセスを含むモデル化における進歩、および科学的な議論と検証が続くことで、気候変動のより正確な予測へとつながっている。(1.12)</p>	<p><b>理解</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>熱伝導、対流、熱放射</li> <li>黒体放射</li> <li>アルベドと放射率</li> <li>太陽定数</li> <li>温室効果</li> <li>地表と大気におけるエネルギー収支</li> </ul> <p><b>知識・スキルの活用</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>異なる温度で熱放射する発光体で、波長による発光強度の変化を表すグラフを描き、解釈する。</li> <li>ステファアン・ボルツマンの法則とウィーンの変位則に関する問題を解く。</li> <li>地球の平均表面温度における大気の影響を説明する。</li> <li>アルベド、放射率、太陽定数、および地球の平均温度に関する問題を解く。</li> </ul> <p><b>指導</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>熱伝導と対流の説明は定性的なものに限る。</li> <li>熱伝導の説明は分子間および電子間の衝突に限る。</li> <li>対流の説明は、簡単な気体内または液体内の密度差によるものに限る。</li> </ul> <p><b>国際的な視野</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>気候変動が地球の将来におよぼす悪影響の可能性に関する懸念は、国民、企業活動、および環境への配慮など、国内のみならず国家間の政治的議論にもつながり、国際的な報道が盛んになされている。IBで学んだ生徒は、これらの懸念の背後に存在する科学の役割を認識できることが望ましい。</li> </ul> <p><b>「知の理論」(TOK)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>地球温暖化に関するさまざまな議論は、科学者の間でさえデータの解釈において総意に至らないこともあり、特に政府間の国際的な協力が求められる場合には、困難な状況が起こり得ることを示している。科学者間に同意が見られない場合、私たちはどのようにして競合する理論を評価すべきだろうか。</li> </ul> <p><b>自然や人間生活との関わり</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>気候モデルや、その詳細や過程の変化を含んだもの</li> <li>「化学」選択項目C——環境化学</li> <li>「生物」4.4、「環境システムと社会」トピック5、6——気候変動</li> <li>「数学スタディーズSL」4.1——正規分布曲線</li> </ul>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

8.2 熱エネルギーの伝達	
<ul style="list-style-type: none"> <li>温室効果ガスによる赤外線吸収では、分子のエネルギー準位と吸収後の放射は全方向であることを考える。</li> <li>温室効果ガスとして取り上げるのは<math>\text{CH}_4</math>、<math>\text{H}_2\text{O}</math>、<math>\text{CO}_2</math>および<math>\text{N}_2\text{O}</math>である。生徒はこれらが天然および人工と両方の起源をもつことを知れば十分である。</li> <li>地球のアルベドは毎日変動し、雲の形成など季節や緯度にも依存する。年間平均のアルベドは0.3 (30%) とする。</li> </ul> <p><b>I B 資料『物理資料集』関連項目</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><math>P = e\sigma AT^4</math></li> <li><math>\lambda_{\text{max}}(\text{メートル}) = \frac{2.90 \times 10^{-3}}{T(\text{ケルビン})}</math></li> <li><math>I = \frac{\text{仕事率}}{A}</math></li> <li><math>\text{アルベド} = \frac{\text{反射光の総仕事率}}{\text{入射光の総仕事率}}</math></li> </ul>	<p><b>ねらい</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>ねらい4</b>：この学習項目は、生徒が自ら、気候変動に関するさまざまな科学的な分析に触れ、理解する機会となる。</li> <li><b>ねらい6</b>：地表と大気からなる系におけるエネルギー変換のシミュレーション</li> <li><b>ねらい8</b>：科学は、気候変動による問題を分析し、解決する力をもたらすが、気候変動が人為的に引き起こされる環境に至ることに科学が果たした役割にも、生徒の目を向けさせるべきである。さらに、このような議論においては、一方の側の利益のために科学が利用、悪用されかねないことにも生徒は注意するべきである。</li> </ul>

## トピック9——波の現象

17時間

【学習のポイント】調和振動子の解は、系における運動および位置エネルギーの変化として考えることができる。

<p>9.1 単振動</p> <p>「科学の本質」(NOS) との関わり</p> <p>洞察——単振動の運動方程式は、解析的および数值的に解くことができる。このような解は、振動子のふるまいの視覚化を助けるために使用される。いかなる振動も、調和振動の重ね合わせとして表すことができるため、調和振動子の解は非常に有用である。振動子の数値的なモデリングは、電子回路の設計においても重要である。(1.11)</p>	<p><b>理解</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>単振動を定義する式</li> <li>エネルギーの変化</li> </ul> <p><b>知識・スキルの活用</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>単振動における加速度、速度、および変位に関する問題を図的および代数的に解く。</li> <li>単振動における運動エネルギーと位置エネルギーの変換を説明する。</li> <li>単振動におけるエネルギー変換に関する問題を図的および代数的に解く。</li> </ul> <p><b>指導</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>単振り子およびばね振り子は、この学習項目を応用できる系である。</li> </ul>
<p>自然や人間生活との関わり</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>フーリエ解析により、すべての周期的な振動を調和振動子の重ね合わせとして表現できる。調和振動の数学は、振動を扱うすべての科学技術分野に不可欠である。</li> <li>振動におけるエネルギーの変換は、電気現象において重要である。</li> <li>「数学HL」2.6、「数学SL」2.4、「数学スタディーズSL」6.3 ——二次関数</li> <li>「数学SL」3.4——三角関数</li> </ul>	<p><b>ねらい</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>ねらい4</b>：この学習項目を通じて生徒は複雑で多様な科学的知識を組み合わせる能力を開発できる。</li> </ul>

9.1 単振動	
<p><b>I B 資料『物理資料集』関連項目</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\omega = \frac{2\pi}{T}</math></li> <li>• <math>a = -\omega^2 x</math></li> <li>• <math>x = x_0 \sin \omega t; x = x_0 \cos \omega t</math></li> <li>• <math>v = \omega x_0 \cos \omega t; v = -\omega x_0 \sin \omega t</math></li> <li>• <math>v = \pm \omega \sqrt{(x_0^2 - x^2)}</math></li> <li>• <math>E_k = \frac{1}{2} m \omega^2 (x_0^2 - x^2)</math></li> <li>• <math>E_T = \frac{1}{2} m \omega^2 x_0^2</math></li> <li>• 単振り子: <math>T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}</math></li> <li>• ばね振り子: <math>T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>ねらい6</b>: 単振り子またはねじれ振り子の研究・音叉における振動の測定・サブトピック 4.1 で行われた実験の拡張などを行うことも考えられる。力の法則を反復して利用することで、単振動下の物体のふるまいを決定できる。反復計算では、与えられた初期値に始まり、等加速度運動の式から得られる数値的解を小さな時間増分ステップごとに繰り返し計算する。各ステップで得られる解は、次のステップの初期条件となる。</li> <li>• <b>ねらい7</b>: 単振動と関連する変数の変化は、コンピューター・シミュレーションで容易に観測できる。</li> </ul>

【学習のポイント】 単スリットによる回折は、スリットの幅と入射する波の波長がほぼ同じ長さの条件で発生する。

<p>9.2 単スリットによる回折</p>	<p>「科学の本質」(NOS) との関わり 理論の開発——光が開口部を通るとき、重ね合わさった波がつくるのは、干渉を考えない単純な理論が予測する模様とはまったく異なる回折像である。 (1.9)</p>	<p><b>理解</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>単スリットによる回折の性質</li> </ul> <p><b>知識・スキルの活用</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>スリット幅が回折像に与える影響を説明する。</li> <li>一次の暗線の現れる位置を求める。</li> <li>白色光およびさまざまな周波数をもつ単色光による単スリット回折像を定性的に説明する。</li> </ul> <p><b>指導</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>長方形のスリットのみを考慮する。</li> <li>スリットの通過でなく、障害物の背後にまわるような回折はこの学習項目で扱う必要はない(「物理」4.4を参照)。</li> <li>単スリット干渉縞では、隣り合う明線と暗線の強度の大まかな比を単に学習させる。</li> <li>計算では、単スリットによる干渉における一次の暗線の位置を、近似式を利用して求めることに限られる。</li> </ul> <p><b>I B 資料『物理資料集』関連項目</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><math>\theta = \frac{\lambda}{b}</math></li> </ul>
		<p><b>「知の理論」(TOK)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>科学における説明は、例えば歴史など他の知識分野とは異なるものだろうか。</li> </ul> <p><b>自然や人間生活との関わり</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>X線回折は、結晶学や材料科学の研究者にとって重要なツールである。</li> </ul> <p><b>ねらい</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>ねらい2</b>：このトピックは、時代により変化する知識体系としての科学を特徴づける。</li> <li><b>ねらい6</b>：実験は「物理」4.4および9.3で行われるものと組み合わせることができる。</li> </ul>



【学習のポイント】 複スリットおよび薄膜による干渉縞は、正確に再現可能な模様を作り出す。

<p>9.3 干渉</p>	<p>「科学の本質」(NOS) との関わり 好奇心——クジャクの羽など動物に見られるきらめくような玉虫色は、科学者たちによる薄膜の干渉の理論の発展につながった。(1.5) 思わぬ発見——実験で初めて生産された薄膜は、偶然の産物であった。(1.5)</p>	<p><b>理解</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ ヤングの二重スリット実験</li> <li>・ 単スリット回折の効果による二重スリットにおける干渉縞の変化</li> <li>・ 複スリットおよび回折格子による干渉縞</li> <li>・ 薄膜による干渉</li> </ul> <p><b>知識・スキルの活用</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 単スリットを前方においていた場合に起こる変化を含む、二重スリットによる干渉縞を定性的に説明する。</li> <li>・ ヤングの二重スリット実験を実験をとおして調べる。</li> <li>・ 二重スリット回折の干渉縞による強度分布を描き、解釈する。</li> <li>・ 回折格子の方程式に関する問題を解く。</li> <li>・ 薄膜における干渉の強め合いと弱め合いに必要な条件を、位相のずれや屈折率による影響を含め、説明する。</li> <li>・ 薄膜による干渉に関する問題を解く。</li> </ul> <p><b>指導</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 電磁波、音波、その他波のデモなど、さまざまな干渉性をもつ（コヒーレントな）波源からの干渉縞を生徒に紹介するべきである。</li> <li>・ 回折格子では垂直入射のみを考える。</li> </ul> <p><b>「知の理論」(TOK)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 二重スリットによる干渉の説明には、単スリットによる変化を用いなくとも理解できる場合が多い。簡単のために、モデルはどの程度部分的に省略することができるだろうか。</li> </ul> <p><b>自然や人間生活との関わり</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ コンパクトディスクは回折格子の商用利用の一例である。</li> <li>・ 薄膜は反射防止膜に利用されている。</li> </ul> <p><b>ねらい</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ <b>ねらい4</b>：この学習項目では、回折と干渉という2つの概念を同時に扱うことにより、学生はより広い科学的知識を分析し組み合わせることができるとができる。</li> <li>・ <b>ねらい6</b>：分光器内での回折格子の利用の観察・薄い石鹸膜の分析・音波やマイクロ波による干渉縞の分析などの実験を行うことも考えられる。</li> <li>・ <b>ねらい9</b>：光線の描画による薄膜干渉の説明は、近似にすぎない。このような視覚化の限界を生徒に認識させるべきである。</li> </ul>
---------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<p><b>9.3 干渉</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 薄膜における干渉では、互いに平行な面を持つ膜に光が垂直に入射する場合のみを考える。</li> <li>・ 強め合いと弱め合いの干渉に関する下記およびI B資料『物理資料集』記載の式は、特定の位相のずれの条件下においてのみ適用でき、一般的には正しくない。</li> </ul> <p><b>I B資料『物理資料集』関連項目</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ <math>n\lambda = d \sin \theta</math></li> <li>・ 強め合う干渉：<math>2dn = (m + \frac{1}{2})\lambda</math></li> <li>・ 弱め合う干渉：<math>2dn = m\lambda</math></li> </ul>
----------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

【学習のポイント】 分解能は、異なる対象物の画像を光学機器その他によって分離して識別できる絶対的な限界を示すものである。

<b>9.4 分解能</b>	
<p><b>「科学の本質」(NOS) との関わり</b>                  技術改良 — 分解能の限界は、レイリーの基準を目安として示される。大口径のパラボラアンテナや短波長レーザーの利用など、技術の継続的進歩は、解像度の限界を押し広げている。(1.8)</p>	
<p><b>理解</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 回折における開口部の大きさ</li> <li>・ 2つの単色な単色の対象物を解像する分解能</li> </ul> <p><b>知識・スキルの活用</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 2つの光源から放たれた光が単スリットにより回折する場面にレイリー基準を応用する問題を解く。</li> <li>・ 回折格子における分解能。</li> </ul> <p><b>指導</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 回折格子の分解能の式の証明は扱わなくてもよい。</li> </ul> <p><b>I B 資料『物理資料集』関連項目</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ <math>\theta = 1.22 \frac{\lambda}{b}</math></li> <li>・ <math>R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = mN</math></li> </ul>	<p><b>国際的な視野</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 人工衛星の商業的および政治的利用は、衛星のもつ分解能に大きく依存する。</li> </ul> <p><b>「知の理論」(TOK)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ ドーズおよびレイリーによって示された分解能の限界は、高性能の望遠鏡においては上回ることも可能である。技術の進歩によっては、科学による知識が示す他の限界を超えることも可能なのだろうか。</li> </ul> <p><b>自然や人間生活との関わり</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 「物理」選択項目 C — 光学的または他の受信機では、対象物を解像できることが前提となる。衛星通信、電波天文学、および他のさまざまな物理や技術の応用に、分解能は影響をおよぼす。</li> <li>・ コンパクトディスクやその類の記憶媒体および CCD センサーにおける正確な記憶および再生能力は、分解能の限界に依存する。</li> </ul> <p><b>ねらい</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ <b>ねらい3</b>：この学習項目は、波の理論と実生活への応用の間にある溝を埋めることに役立つ。</li> <li>・ <b>ねらい8</b>：人工衛星を使った国際社会間での通信への需要は、技術の社会的および経済的な影響への意識を高める。</li> </ul>

【学習のポイント】ドップラー効果は、相對運動において波長および周波数が変化する現象を説明する。

<p><b>9.5 ドップラー効果</b></p> <p><b>「科学の本質」(NOS) との関わり</b></p> <p>技術——ドップラー効果は、素早く運動する音源から発する音程の変化の観測において初めて発見されたが、天気予報や医療に使われる画像の生成から膨張する宇宙の証拠に至るまで、さまざまな領域において重要な役割を果たしている。(5.5)</p>	<p><b>国際的な視野</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ レーダーの使用にはドップラー効果が不可欠であり、この応用例は必ず取り上げること。</li> <li>・ 「<b>知の理論</b>」(TOK)</li> <li>・ ドップラー効果のような科学的なアイデアの説明において、感覚や知覚はどのくらい重要だろうか。</li> </ul> <p><b>自然や人間生活との関わり</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 「物理」選択項目トピック D ——天文学では、高速で運動する物体の解析にドップラー効果が利用される。</li> <li>・ <b>ねらい2</b>：波の理論を応用するさまざまな技術において、ドップラー効果が考慮されなければならない。</li> <li>・ <b>ねらい6</b>：遠ざかる銀河のスペクトルや画像データは、天文台から入手し分析することが可能である。</li> <li>・ <b>ねらい7</b>：コンピューターシミュレーションを使用すれば、ドップラー効果の複雑で観測しにくい部分の視覚化が可能である。</li> </ul>
<p><b>理解</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 光や音におけるドップラー効果</li> </ul> <p><b>知識・スキルの活用</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 波源と観測者に相對運動がみられるドップラー効果を描き分析する。</li> <li>・ ドップラー効果を活用できる状況を説明する。</li> <li>・ ドップラー効果による波長または周波数の変化から、発生源と観測者の相對速度を計算する問題を解く。</li> </ul> <p><b>指導</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 電磁波を扱う計算においては、すべてに近似的な方程式を使えばよい。</li> <li>・ ドップラー効果の応用例には、レーダー探知機、医学物理学、および遠ざかる銀河のスペクトルに見られる赤方偏移の意味などを含めることが望ましい。</li> </ul>	<p><b>IB 資料『物理資料集』関連項目</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 発生源が動く場合：<math>f' = f \left( \frac{v}{v \pm u_s} \right)</math></li> <li>・ 観測者が動く場合：<math>f' = f \left( \frac{v \pm u_o}{v} \right)</math></li> <li>・ <math>\frac{\Delta f}{f} = \frac{\Delta \lambda}{\lambda} \approx \frac{v}{c}</math></li> </ul>

【学習のポイント】電荷と質量はそれぞれそのまわりの空間に影響を及ぼし、その影響は場の概念を通じて表される。

<p>10.1 場の表現</p> <p>「科学の本質」(NOS) との関わり</p> <p>パラダイムシフト——物体へ影響を及ぼす要因の説明が、直接観測できざる作用から、場による「遠隔作用」へと変化する過程では、パラダイムシフトが必要であった。(2.3)</p>	<p><b>理解</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 重力場</li> <li>・ 静電場</li> <li>・ 電位と重力ポテンシャル</li> <li>・ 力線</li> <li>・ 等ポテンシャル面</li> </ul> <p><b>知識・スキルの活用</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 質量や電荷の発生源、電気力や重力の力線、および力線のパターンを適当な記号を用いて表す。</li> <li>・ ポテンシャルを使って力線を描く。</li> <li>・ 等ポテンシャル面と力線のつながりを説明する。</li> </ul> <p><b>指導</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 静電場は、点電荷および球状電荷の中心から放射状のもの、2つの点電荷によるもの、および2つの平板状電荷による均一なものだけを扱う。</li> </ul>
「知の理論」(TOK)	
<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 重力や静電気力の大きさは距離の二乗に反比例し、無限遠点においてのみゼロとなるが、現実的にはそれより小さな距離において無視できるほど弱くなる。ある効果が無視できるほど小さいといった判断を、科学者はどのように下すだろうか。</li> </ul> <p><b>自然や人間生活との関わり</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 「物理」1.3——この項ではベクトル解析が役に立つ。</li> </ul> <p><b>ねらい</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ <b>ねらい9</b>：力線を使った電気力や重力のモデルは、ある程度の予測を可能にするが、線の太さや描き方など視覚的な表現に限界も存在する。</li> </ul>	

10.1 場の表現	
	<ul style="list-style-type: none"><li>重力場は、質点または球対称な質量分布の中心から距離だけに依存するもの、巨大な天体や惑星の表面近くでは重力場を均一と見なす例のみを扱う。</li><li>等ポテンシャル面上での電荷や質量の移動に仕事は必要ないことを生徒に学習させることが望ましい。</li></ul> <p><b>I B 資料『物理資料集』関連項目</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li><math>W = q\Delta V_e</math></li><li><math>W = m\Delta V_g</math></li></ul>

【学習のポイント】電位および重力ポテンシャルに関する問題では、同様のアプローチを使用することができる。

10.2 場のはたらき	
<p><b>「科学の本質」(NOS) との関わり</b></p> <p>科学的説明のコミュニケーション——場の理論を、電荷のような観測不能なものから人工衛星の動きのような大規模なシステムにまで応用することができるようになるようになった科学者は、新たな研究や分析方法のみならず、一般社会へ研究成果を伝えるための効果的な方法を開拓しなければならなかった。(5.1)</p>	<p><b>自然や人間生活との関わり</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>GPSシステムは人工衛星の動きの完全な理解に依存する。</li> <li>静止衛星および極軌道衛星</li> <li>「物理」選択項目 C.4 ——粒子加速器における荷電粒子の加速 および医療画像機器は、電場の存在に依存する。</li> </ul> <p><b>ねらい</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>ねらい2</b>：ニュートンの万有引力の法則およびクーロンの法則は、いわゆる古典物理として知られる体系の一部をなす。この知識体系は、相対性理論と量子論の出現まで、基本的な手法の根幹をなしていた。</li> <li><b>ねらい4</b>：重力および静電相互作用の理論は、多くの現象の説明に大きな枠組みを与える。</li> </ul>
<p><b>理解</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>ポテンシャルとポテンシャルエネルギー</li> <li>ポテンシャル勾配</li> <li>ポテンシャル差</li> <li>脱出速度</li> <li>軌道運動、軌道速度、および軌道エネルギー</li> <li>力と逆二乗則のふるまい</li> </ul> <p><b>知識・スキルの活用</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>質点および点電荷によるポテンシャルエネルギーを求める。</li> <li>ポテンシャルエネルギーに関する問題を解く。</li> <li>球状電荷中のポテンシャルを求める。</li> <li>惑星において、物体が軌道運動をするために必要な速度、および惑星の重力場から逃れるための脱出速度に関する問題を解く。</li> <li>円軌道における荷電粒子や質点の軌道エネルギーに関する問題を解く。</li> <li>放射状および一様な場において電荷や質量にはたらく力に関する問題を解く。</li> </ul> <p><b>指導</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>惑星における衛星の軌道運動は、円運動のみに限られる（「物理」6.1と6.2を参照）。</li> <li>一様および放射状の場の両方を扱うこと。</li> </ul>	

## 10.2 場のはたらき

- ・ 力線は、3次元の場を2次元で表す場合もあることを生徒に理解させることが望ましい。
- ・ 平板状電荷では、端部効果を無視することで電場を一樣と見なせる状況を生徒に仮定させればよい。

## I B 資料『物理資料集』関連項目

$V_g = -\frac{GM}{r}$	$V_e = \frac{kq}{r}$
$g = -\frac{\Delta V_g}{\Delta r}$	$E = -\frac{\Delta V_e}{\Delta r}$
$E_p = mV_g = -\frac{GMm}{r}$	$E_p = qV_e = \frac{kq_1q_2}{r}$
$F_G = G\frac{m_1m_2}{r^2}$	$F_E = k\frac{q_1q_2}{r^2}$

- ・  $v_{\text{esc}} = \sqrt{\frac{2GM}{r}}$

- ・  $v_{\text{orbit}} = \sqrt{\frac{GM}{r}}$



【学習のポイント】 世界中の電気の大部分は、電磁誘導の原理を利用するよう設計された機械によって生成されている。

<p>11.1 電磁誘導</p>	<p>「科学の本質」(NOS) との関わり                  実験——1831年、マイケル・ファラデーは、2つのコイルからなる原始的な装置を用いた実験で、一方のコイルの電流が一定のときは何も起こらないものの、そのコイルに電流を流したり止めたりする操作の瞬間、もう一方のコイルに微かな電流のパルスが発生することを観測した。ファラデーによる弱い過渡的な電流の観測は、後の電磁誘導の法則に結びつく実験へとつながった。(1.8)</p>
<p>理解</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>起電力</li> <li>磁束と鎖交磁束</li> <li>ファラデーの電磁誘導の法則</li> <li>レンツの法則</li> </ul>	<p>「知の理論」(TOK)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>電磁気学で使われる専門用語は難しく、専門家以外にはわかりづらいものである。意味が明確にわかりにくい専門用語の使用は、科学的な概念を一般に伝えることに、どのような影響を及ぼすだろうか。</li> </ul>
<p>知識・スキルの活用</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>変化する磁束および一様な磁場中で誘導される起電力の発生を説明する。</li> <li>磁束、鎖交磁束、およびファラデーの法則に関する問題を解く。</li> <li>レンツの法則をエネルギーの保存を用いて説明する。</li> </ul>	<p>自然や人間生活との関わり</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>電磁誘導は、変圧器、電磁ブレーキ、地震学における受震器(ジオフォーン)、金属探知機など、広く応用されている。</li> </ul>
<p>指導</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>直線電流が磁場に対して直角に動く例、長方形コイルが磁場の内外へ動く例、および長方形コイルが磁場の中で回転する例を、定量的に扱う。</li> <li>変化する磁場に固定されたコイル、および交流発電機は、定性的に扱う。</li> </ul>	<p>ねらい</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>ねらい2：電磁誘導の原理は、エネルギーをある形から他の形へ伝達するシステムを設計する際に、非常に役に立つ。</li> </ul>

<p>11.1 電磁誘導</p> <p><b>I B 資料『物理資料集』関連項目</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\phi = BA \cos \theta</math></li> <li>• <math>\varepsilon = -N \frac{\Delta\phi}{\Delta t}</math></li> <li>• <math>\varepsilon = Bvl</math></li> <li>• <math>\varepsilon = BvIN</math></li> </ul>	
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

【学習のポイント】 交流電気の発電と送電は、世界に革命をもたらした。

<p><b>11.2 発電と送電</b></p> <p><b>「科学の本質」(NOS) との関わり</b></p> <p>バイアス—19世紀後半、送電方式の議論において、エジソンは直流方式を支持したが、ウェステイニングハウスとテスラは交流方式を支持した。いわゆる電流戦争と呼ばれる競争は、今日の社会にも大きな影響を及ぼした。(3.5)</p>	<p><b>国際的な視野</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>電気の普及が進んだことにより、信頼性の高い電力網の維持は、すべての政府の目標となっている。</li> </ul> <p><b>「知の理論」(TOK)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>電磁波の使用が特に子どもの健康に及ぼす影響については、議論が続いている。科学の進歩の産物による長期的な影響がよく知られていない場合において、その利用をすすめることは正当化されるべきだろうか。</li> </ul> <p><b>ねらい</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>ねらい6</b>：基本的な交流発電機の構築・変圧器の入力側および出力側にさまざまなコイルを使う調査・ホイートストンおよびウィーンブリッジ回路の観察などの実験を行うことも考えられる。</li> <li><b>ねらい7</b>：非常に大規模な配電システムの構成および調整の観察は、コンピュータモデリングのソフトウェアやウェブサイト上で行うのが望ましい。</li> <li><b>ねらい9</b>：送電は、完全に効率的なシステムを前提としてモデルされるが、そのようなシステムは実在しない。モデルは不完全であるが、理想の結果を知ることができる。完全なシステムと実用的なシステムの間に見られる差を認識し理解することは、科学者の主な仕事の1つである。</li> </ul>
<p><b>理解</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>交流発電機</li> <li>平均電力および電流と電圧の二乗平均</li> <li>変圧器</li> <li>ダイオードブリッジ</li> <li>半波整流および全波整流</li> </ul> <p><b>知識・スキルの活用</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>周波数の変化による影響を含む、基本的な交流発電機の動作を説明する。</li> <li>交流回路における平均電力に関する問題を解く。</li> <li>昇圧および降圧変圧器に関する問題を解く。</li> <li>交流配電における変圧器の利用を説明する。</li> <li>ダイオードブリッジによる整流回路を実験的に調べる。</li> <li>ダイオードブリッジによる整流回路にコンデンサを加える影響を定性的に説明する。</li> </ul> <p><b>指導</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>計算の扱いは理想的な変圧器に限るが、実際の変圧器が理想的でない理由のいくつか、例えば磁束漏れ、ジュール熱、渦電流加熱、磁気ヒステリシスなどを、生徒に学習させることが望ましい。</li> <li>最大値と二乗平均の関係の証明は必要でない。</li> </ul>	

11.2 発電と送電	I B 資料『物理資料集』関連項目
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>I_{\text{rms}} = \frac{I_0}{\sqrt{2}}</math></li> <li>• <math>V_{\text{rms}} = \frac{V_0}{\sqrt{2}}</math></li> <li>• <math>R = \frac{V_0}{I_0} = \frac{V_{\text{rms}}}{I_{\text{rms}}}</math></li> <li>• <math>P_{\text{max}} = I_0 V_0</math></li> <li>• <math>\bar{P} = \frac{1}{2} I_0 V_0</math></li> <li>• <math>\frac{\varepsilon_p}{\varepsilon_s} = \frac{N_p}{N_s} = \frac{I_s}{I_p}</math></li> </ul>

【学習のポイント】コンデンサーは、後の使用のために電気エネルギーを貯めることに利用できる。

<p>11.3 電気容量</p> <p>「科学の本質」(NOS) との関わり</p> <p>関連——科学全体を見わたすと、指数関数的な増加や減衰を見せる現象にあふれており、科学者による数学を通じた現実のモデル化の典型例となっている。この学習項目は、物理学のさまざまな領域のみならず、化学、生物学、医学、および経済学など他の多くの分野にも結びつけられる。(3.1)</p>	<p><b>国際的な視野</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>雷は、プリニウスからニュートン、フランクリンに至るまで、多くの物理学者の興味を引いてきた現象である。雲同士や地面の間で平行板コンデンサーのような電位差が生じ、放電が起こると考えられている。雷が起こる頻度は地域によるが、赤道地域ではとくに多い。落雷の被害は大きく、人間や動物の殺傷、建物や通信および送電システムへのダメージによる経済的損失、航空輸送の遅延や経路変更など、多岐にわたる。</li> </ul> <p><b>自然や人間生活との関わり</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>「物理」7.1 ——コンデンサーの充放電は、放射能など、他の物理分野にも見られるふるまいとの類似点をもっている。</li> </ul> <p><b>ねらい</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>ねらい3</b>：指数関数的な増加や減衰を図的および代数的に扱うことは科学技術において視覚的および数学的に重要なアプローチである。</li> <li><b>ねらい6</b>：基本的なRC回路・ブリッジ回路でのコンデンサーの使用・さまざまな種類のコンデンサーの調査・時定数の検証などの実験を行うことも考えられる。</li> </ul>
<p><b>理解</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>コンデンサー</li> <li>誘電体</li> <li>コンデンサーにおける直列・並列接続</li> <li>RC直列回路</li> <li>時定数</li> </ul> <p><b>知識・スキルの活用</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>さまざまな誘電体による電気容量への影響を説明する。</li> <li>平行板コンデンサーに関する問題を解く。</li> <li>直列および並列に接続されたコンデンサーを調べる。</li> <li>充電されたコンデンサーに蓄えられたエネルギーを求める。</li> <li>コンデンサーが放電するときの指数関数的変化を説明する。</li> <li>固定抵抗を介するコンデンサーの放電に関する問題を解く。</li> <li>RC回路における時定数と電荷、電圧、および電流に関する問題を解く。</li> </ul> <p><b>指導</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>負荷と直列に接続された、端部効果を無視した一定の電場を生む平行板コンデンサーのみを扱う。</li> <li>固定抵抗を介するコンデンサーの放電に関する問題は、図的および代数的解法を扱う。</li> <li>コンデンサーの充電に関する問題は、図的解法のみ扱う。</li> <li>時間による電荷、電圧、および電流の変化の公式の導出は必要でない。</li> </ul>	

11.3 電気容量	<p><b>I B 資料『物理資料集』関連項目</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• <math>C = \frac{q}{V}</math></li><li>• <math>C_{\text{parallel}} = C_1 + C_2 + \dots</math></li><li>• <math>\frac{1}{C_{\text{series}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots</math></li><li>• <math>C = \epsilon \frac{A}{d}</math></li><li>• <math>E = \frac{1}{2} CV^2</math></li><li>• <math>\tau = RC</math></li><li>• <math>q = q_0 e^{-\frac{t}{\tau}}</math></li><li>• <math>I = I_0 e^{-\frac{t}{\tau}}</math></li><li>• <math>V = V_0 e^{-\frac{t}{\tau}}</math></li></ul>
-----------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

## トピック12——量子物理学と原子核物理学

16時間

【学習のポイント】 微小な量子の世界では、解釈や説明に古典的な世界では見られない新しいアイデアや概念を必要とする、多彩な現象が見られる。

12.1 光と物質の相互作用	
<p>「科学の本質」(NOS) との関わり          観測——原子の量子論の研究の多くは、原子のスペクトルに見られるパターンによって導かれた。物質の量子モデルの先がけは、ボーアの水素原子モデルであった。(1.8)          パラダイムシフト——光における波動と粒子の二重性のパラドックスの受け入れは、さまざまな分野の科学者にとって、新たな視点をもって研究を見つめなおすことにつながった。(2.3)</p>	
<p><b>理解</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>光子</li> <li>光電効果</li> <li>物質波</li> <li>対生成と対消滅</li> <li>ボーアの水素原子モデルにおける角運動量の量子化</li> <li>波動関数</li> <li>エネルギーと時間および位置と運動量における不確定性原理</li> <li>トンネル効果、ポテンシャル障壁、およびトンネル確率に影響をおよぼす要因</li> </ul>	<p><b>「知の理論」(TOK)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>トンネル効果のような量子現象は、古典物理学的な法則が破られる例を示している。科学技術の進歩は、科学におけるパラダイムシフトをどのくらい可能にするだろうか。</li> </ul> <p><b>自然や人間生活との関わり</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>電子顕微鏡や走査型トンネル顕微鏡は、量子物理学の研究による成果に依存している。</li> <li>「数学スタディーズSL」3.6、3.7 ——確率の数学的な取り扱い</li> </ul> <p><b>ねらい</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>ねらい1</b>：量子現象の学習は、巨視的な感覚では経験できない新しい刺激的な世界に生徒を導く。トンネル効果などは巨視的な世界では観測できない現象である。</li> </ul>
<p><b>知識・スキルの活用</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>光電効果の実験において、古典的な波の理論では説明できない部分はどこなのかを議論する。</li> </ul>	

12.1 光と物質の相互作用	
<ul style="list-style-type: none"> <li>光電効果に関する問題を図的および代数的に解く。</li> <li>電子の波の性質が明らかになる実験など、物質波の実験的な証拠を議論する。</li> <li>不確定性原理と数量（オーダー）の比較を用いた推計をする。</li> </ul> <p><b>指導</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>不確定性原理と数量の比較を用いた推計では、基底状態の原子のエネルギー、電子が原子核の内に存在する確率、励起状態の電子の寿命などを考えることもできる。</li> <li>トンネル効果は、波動関数の連続性の概念を用いて定性的に考える。</li> </ul> <p><b>I B 資料『物理資料集』関連項目</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><math>E = hf</math></li> <li><math>E_{\max} = hf - \phi</math></li> <li><math>E = -\frac{13.6}{n^2} \text{eV}</math></li> <li><math>mvr = \frac{nh}{2\pi}</math></li> <li><math>P(r) =  \psi ^2 \Delta V</math></li> <li><math>\Delta x \Delta p \geq \frac{h}{4\pi}</math></li> <li><math>\Delta E \Delta t \geq \frac{h}{4\pi}</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>ねらい6</b>：光電効果は発光ダイオードを使って調べてられる。</li> <li><b>ねらい9</b>：ボーアの原子モデルは、水素原子を良く説明するが、他の元素においては役に立たない。</li> </ul>



【学習のポイント】原子で見られる離散性の考え方は、原子核の世界でも適切である。

12.2 原子核物理学	
<p><b>「科学の本質」(NOS) との関わり</b></p> <p>理論的進歩と想像力——原子、原子核、および素粒子物理学の進歩は、多くの場合、理論的な研究や想像力が牽引してきた。</p> <p>計測機器の進歩——技術の進歩による素粒子検出の新しい技術も非常に重要であった。</p> <p>コンピューターによる計算力——粒子加速器による実験で得られるデータの解析は、最新のコンピューターによる計算力なくしては不可能である。(1.8)</p>	<p><b>「知の理論」(TOK)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>素粒子についての私たちの知識は、実験から得られるデータを解釈するための理論的モデルに基づいている。このような仮定を前提とするモデルに依存しない独立した真理を見つけて出していることを、私たちはどのようにして確認できるだろうか。絶対的な唯一の真理といったものは、果たして存在するだろうか。</li> </ul> <p><b>自然や人間生活との関わり</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>「物理」選択項目 C.4 ——放射能、放射性物質、および放射性崩壊の法則は、現代の核医学において重要である。</li> </ul> <p><b>ねらい</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>ねらい2</b>：ニュートリノの検出は、この領域の知識体系が科学者の努力により今も成長していることを示している。</li> </ul>
<p><b>理解</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>ラザフォード散乱と核半径</li> <li>原子のエネルギ一単位</li> <li>ニュートリノ</li> <li>放射性崩壊の法則と崩壊定数</li> </ul> <p><b>知識・スキルの活用</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>回折する粒子による最小強度の位置をド・ブロイ波長から求めることを含む、散乱の実験を説明する。</li> <li>高エネルギー実験が、ラザフォード散乱と相違する部分を説明する。</li> <li>原子のエネルギ一単位の実験的証拠を説明する。</li> <li>任意の時間間隔における放射性崩壊の法則に関する問題を解く。</li> <li>半減期の短い場合および長い場合両方の測定方法を説明する。</li> </ul>	<p><b>指導</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>原子核の密度が核種によらずほぼ一定であること、巨視的に観測される物体で原子核と密度がほぼ同様なものは中性子星のみであることを、生徒に学習させることが望ましい。</li> <li>小さな角度範囲での近似は、最小強度の場所を求める場合には適切でないことが多い。</li> </ul>

12.2 原子核物理学	<b>I B 資料『物理資料集』関連項目</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• <math>R = R_0 A^{1/3}</math></li><li>• <math>N = N_0 e^{-\lambda t}</math></li><li>• <math>A = \lambda N_0 e^{-\lambda t}</math></li><li>• <math>\sin \theta \approx \frac{\lambda}{D}</math></li></ul>
-------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

## SL・HL共通項目のトピック

15時間

**【学習のポイント】** アインシュタインによる電磁気の研究では、マクスウェルの理論とニュートン力学の間には矛盾があることが明らかになった。アインシュタインは両理論の折り合いがつかないことを認め、マクスウェルの電磁気理論を信じることを選び、それまで長い間信じられてきた力学における時空の概念を変え、それを余儀なくされた。

## A.1 相対性理論のはじまり

## 「科学の本質」(NOS) との関わり

パラダイムシフト——慣性系の観測者にとって光速が不変であるという基本的な事実、私たちの時空への理解に根本的に重要な変化をもたらした。二千年以上において疑われることなく信じられてきた時間と空間の概念が偽りだったことが示されたのである。相対性理論の加速度系への拡張は、質量およびエネルギーが時空を歪めることを説明する、一般相対性理論という革命的なアイデアへとつながった。(2.3)

## 理解

- ・ 基準系
- ・ 時間と空間におけるガリレオおよびニュートンによる相対性原理
- ・ マクスウェルと光速の不変性
- ・ 電荷または電流にはたらく力

## 知識・スキルの活用

- ・ ガリレイ変換を利用する。
- ・ 基準系において電荷または電流にはたらく力が電気あるいは磁気によるものかを判別する。
- ・ 異なる観測者によって観測される場の性質を判別する。

## 「知の理論」(TOK)

- ・ 科学者が、新しい考え方には世界観のパラダイムシフトが必要とされると提唱するとき、一般人はその主張が正しいことをどのようにして確認するのだろうか。
- ねらい**
- ・ **ねらい3**：この学習項目は、相対性理論および現代物理学の発展の土台である。

A.1 相対性理論のはじまり	<p><b>指導</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>マクスウェル方程式の説明は必要でない。</li><li>相対運動をする観測者による電場や磁場の観測を定性的に扱うこと。例としては、磁場を移動する1つの荷電粒子、または平行線上を移動する2つの荷電粒子などを含む。荷電粒子が静止する座標系の視点や、磁場が静止する座標系の視点をもつ観測者から見たふるまいを生徒に分析させること。</li></ul> <p><b>I B 資料『物理資料集』関連項目</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li><math>x' = x - vt</math></li><li><math>u' = u - v</math></li></ul>
----------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

**【学習のポイント】** 等速度で相対的な運動をする観測者の間では、事象の時間と空間の座標値については、それぞれが観測する値は一致しないが、真空における光速においては一致する。ローレンツ変換は、ある基準系の観測値を他の基準系の観測値に関連づける。光速に近い運動では成り立たないガリレイ変換は、これらの変換式によって置き換えられる。

<p><b>A.2 ローレンツ変換</b></p> <p><b>「科学の本質」(NOS) との関わり</b></p> <p>純粋な科学——アインシュタインは、2つの仮定をもとにして相対性理論を考え出し、残りは数学的な分析によって導き出した。第一の仮定は、電磁気の法則やニュートンの運動法則などを含む、すべての物理学法則をまとめたものであった。(1.2)</p>	<p><b>理解</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>特殊相対性理論における2つの仮定</li> <li>時間の同期</li> <li>ローレンツ変換</li> <li>速度の合成則</li> <li>不変量(時空の隔たり、固有時、固有長、静止質量)</li> <li>時間の遅れ</li> <li>長さの収縮</li> <li>ミューオン崩壊実験</li> </ul> <p><b>知識・スキルの活用</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>2人の観測者による、異なる時間と空間の測定値は、ローレンツ変換を通じてお互いの基準系の測定値に変換できることを説明する。</li> <li>さまざまな事象における位置と時間の座標値を、ローレンツ変換を使って計算する。</li> <li>ある基準系において2つの事象が別々の位置で同時に起こる場合、その事象は他の基準系においては同時に起こらないことを、ローレンツ変換を用いて示す。</li> <li>速度の合成則に関する問題を解く。</li> <li>時間の遅れと長さの収縮の公式をローレンツ変換を用いて導く。</li> </ul>
	<p><b>自然や人間生活との関わり</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>物理においても非常に難解な分野であった一般相対性理論だが、現在は精密な全球測位システム(GPS)の構築に欠かせない。</li> </ul> <p><b>ねらい</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>ねらい2</b>：ローレンツ変換の公式は、ひとりの観測者が観測する運動の説明を、その観測者と相対的な運動をする観測者の観測するものと比べるための、体系的な知識を提供する。</li> <li><b>ねらい3</b>：これらの公式はさまざまな条件下で応用することができる。</li> <li><b>ねらい9</b>：相対性理論の導入は、時間や空間における運動に関するガリレイ的な考え方の限界を乗り越えた。</li> </ul>

A.2 ローレンツ変換	
<ul style="list-style-type: none"> <li>時間の遅れや長さの収縮に関する問題を解く。</li> <li>ミュンオン崩壊実験に関する問題を解く。</li> </ul>	<p><b>指導</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>一次元を扱う問題のみを考える。</li> <li>ローレンツ変換の導出は、試験では問われない。</li> <li>ミュンオン崩壊実験は、時間の遅れおよび長さの収縮の証拠として使うことができる。</li> </ul> <p><b>I B 資料『物理資料集』関連項目</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><math>\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}</math></li> <li><math>x' = \gamma(x - vt); \Delta x' = \gamma(\Delta x - v\Delta t)</math></li> <li><math>t' = \gamma(t - \frac{vx}{c^2}); \Delta t' = \gamma(\Delta t - \frac{v\Delta x}{c^2})</math></li> <li><math>u' = \frac{u - v}{1 - \frac{uv}{c^2}}</math></li> <li><math>\Delta t = \gamma\Delta t_0</math></li> <li><math>L = \frac{L_0}{\gamma}</math></li> <li><math>(ct')^2 - (x')^2 = (ct)^2 - (x)^2</math></li> </ul>

【学習のポイント】時空図は、相對運動をする別々の観測者による観測がどのように異なるのかをグラフ上で図解する、非常に明確な方法である。

<p><b>A.3 時空図</b></p>	<p><b>「科学の本質」(NOS) との関わり</b> モデルの視覚化——時空図による事象の視覚化は、時空の概念の理解を進めることに大きな助けとなる。(1.10)</p> <p><b>理解</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>時空図</li> <li>世界線</li> <li>双子のパラドックス</li> </ul> <p><b>知識・スキルの活用</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>事象を時空図上の点として表す。</li> <li>運動する粒子の位置を時空図上の曲線（世界線）として表す。</li> <li>複数の慣性基準系を時空図上で表す。</li> <li>特定の速度で運動する物体の世界線と時間軸が時空図上で作る角度を求める。</li> <li>時空図における同時性と運動に関する問題を解く。</li> <li>時間の遅れと長さの収縮を時空図上で表す。</li> <li>双子のパラドックスを説明する。</li> <li>時空図を使い双子のパラドックスを解消する。</li> </ul> <p><b>指導</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>試験問題では時空図が参照される。時空図はミンコフスキー図とも呼ばれる。</li> <li>定量的な回答を求める問題においては、一定の速度上での時空図のみを扱う。</li> <li>時空図の縦軸は <math>t</math> または <math>ct</math> をとる。</li> <li>試験問題では <math>c = 1</math> とする単位系も使われる。</li> </ul> <p><b>「知の理論」(TOK)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>パラドックスは理屈のみで解決することが可能だろうか。あるいは他の知的方法も必要とするだろうか。</li> </ul> <p><b>ねらい</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>ねらい4</b>：時空図は相對論的な問題をより直観的に分析することを可能にする。</li> </ul>
-----------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

A.3 時空図	I B 資料『物理資料集』関連項目 ・ $\theta = \tan^{-1}\left(\frac{v}{c}\right)$
---------	---------------------------------------------------------------------



**【学習のポイント】** 時間と空間の相対性は、保存則の性質を維持するために、エネルギーや運動量の新しい定義を必要とする。

<p><b>A.4 相対論的力学</b></p> <p><b>「科学の本質」(NOS) との関わり</b></p> <p>パラダイムシフト——アインシュタインは、古典力学による運動量保存の法則が相対論では維持できないことに気づいた。そこで彼は、すべての条件下で運動量が保存されるためには、運動量のみならず運動エネルギーや粒子の全エネルギーなど、他の物理量の定義も改められるべきと考えた。これは大きなパラダイムシフトであった。(2.3)</p>	<p><b>理解</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>全エネルギーと静止エネルギー</li> <li>相対論的運動量</li> <li>粒子加速</li> <li>不変量としての電荷</li> <li>光子</li> <li>質量の単位としての <math>\text{MeV } c^{-2}</math> および運動量の単位としての <math>\text{MeV } c^{-1}</math></li> </ul> <p><b>知識・スキルの活用</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>特殊相対性理論におけるエネルギーと運動量の保存則を説明する。</li> <li>粒子を与えられた速度やエネルギーまで加速することに必要なたポテンシャル差を求める。</li> <li>粒子の衝突や崩壊における相対論的なエネルギーおよび運動量の保存に関する問題を解く。</li> </ul>
<p><b>「知の理論」(TOK)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>自然科学における法則は、経済学などにおける法則とは、どのような違いがあるだろうか。</li> </ul> <p><b>自然や人間生活との関わり</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>相対論的力学の法則は、原子力発電所および粒子加速器や検出器の動作の管理に日々利用されている。</li> </ul>	<p><b>ねらい</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>ねらい4</b>：冷凍や空調システムは環境に対して著しいマイナスの影響を与えており、冷却剤としてCFCを用いることは、オゾン層破壊の主要な原因となっている。</li> <li><b>ねらい9</b>：相対性理論は、何物も光速を超えられないという1つの厳しい制限を課す。</li> </ul>

<p>A.4 相対論的力学</p>	<p><b>指導</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 応用では粒子崩壊を扱い、例えばパイ中間子の崩壊で現れる光子 (<math>\pi^0 \rightarrow 2\gamma</math>) の波長の計算を行う。</li> <li>・ <math>m_0</math> という記号は、粒子の不変質量を表すことに用いられる。</li> <li>・ 速度によって変化する相対論的質量という概念は用いないこと。</li> <li>・ 問題では一次元のみを扱う。</li> </ul> <p><b>I B 資料『物理資料集』 関連項目</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ <math>E = \gamma m_0 c^2</math></li> <li>・ <math>E_0 = m_0 c^2</math></li> <li>・ <math>E_K = (\gamma - 1)m_0 c^2</math></li> <li>・ <math>p = \gamma m_0 v</math></li> <li>・ <math>E^2 = p^2 c^2 + m_0^2 c^4</math></li> <li>・ <math>qV = \Delta E_K</math></li> </ul>
-------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

【学習のポイント】一般相対性理論は、質量、空間、および時間の基本的な概念をまとめ、宇宙の運命を説明することにも利用される。

<p><b>A.5 一般相対性理論</b></p>	<p><b>「科学の本質」(NOS) との関わり</b></p> <p>創造的および批判的な思考 — アインシュタインの偉大な功績の1つである一般相対性理論は、直観、創造的な思考、および想像力から生まれたものであり、質量およびエネルギーを曲率を通じて時空の幾何学的な形に結びつける。何年もの間、ブラックホールからは何事も逃れることができないと考えられていたが、現在これは古典的なブラックホールのみ、あてはまると考えられる。量子論を考慮すると、ブラックホールも黒体のような放射をするからである。この予想外の結果は、ブラックホールと熱力学の間に見られる他の意外なつながりも明らかにした。(1.4)</p>
<p><b>理解</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 等価原理</li> <li>・ 光の屈曲</li> <li>・ 重力赤方偏移とパウンド・レブカ・スナイダーの実験</li> <li>・ シュバルツシルト・ブラックホール</li> <li>・ 事象の地平面</li> <li>・ ブラックホール近辺での時間の遅れ</li> <li>・ 宇宙全体への一般相対性理論の応用</li> </ul>	<p><b>「知の理論」(TOK)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ アインシュタイン自身は「人生最大の過ち」としたものの、2011年のノーベル賞は、ダークエネルギーの研究を通じて宇宙定数の役割を証明した科学者のグループへ贈られた。最初は疑われた理論が後に正しいことが証明された例は他に他にあるだろうか。</li> </ul> <p><b>自然や人間生活との関わり</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ GPSシステムの精密さには、人工衛星の軌道に関して一般相対性理論が予測する補正効果を考慮することが必要である。</li> <li>・ 一般相対性理論は、宇宙のふるまいや最終的な運命といった、スケールの非常に大きな現象を説明することにも使われている。</li> </ul>
<p><b>知識・スキルの活用</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 等価原理を用いて重い物体による光の屈曲を説明する。</li> <li>・ 等価原理を用いて重力による時間の遅れを説明する。</li> <li>・ 重力赤方偏移による周波数の変化を計算する。</li> <li>・ 重力赤方偏移を観測できる実験を説明する。</li> <li>・ ブラックホールにおけるシュバルツシルト半径を計算する。</li> <li>・ 重力による時間の遅れの遅れの公式を、事象の地平面の近くの条件において使用する。</li> </ul> <p><b>指導</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 等価原理は、加速系と自由落下系の比較をとおして生徒に理解させることが望ましい。</li> </ul>	<p><b>ねらい</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ <b>ねらい2</b>：一般相対性理論は、宇宙の大規模構造やふるまいを説明するために必要な概念をまとめる。</li> <li>・ <b>ねらい9</b>：大変役に立つニュートン力学であったが、惑星の運動の非常に細かい部分を完全に説明することはできなかった。</li> </ul>

<p>A.5 一般相対性理論</p>	<p><b>I B 資料『物理資料集』関連項目</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\frac{\Delta f}{f} = \frac{g\Delta h}{c^2}</math></li> <li>• <math>R_s = \frac{2GM}{c^2}</math></li> <li>• <math>\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \frac{R_s}{r}}}</math></li> </ul>
--------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

【学習のポイント】力学の基本的な法則には、回転運動に応用するための拡張部分が存在する。実際の物体は有限の広がりをもつので、質点におけるモデルを拡張し、物体内の異なる点がそれぞれ違った運動状態にある可能性を考える必要がある。

<b>B.1 剛体と回転運動の力学</b>	
<b>「科学の本質」(NOS) との関わり</b>	
モデル化——モデルの使用にはさまざまな目的があり、特定の問題をある文脈内で識別、簡素化し、分析することを可能にする。質点によるモデルを広がりをもつ物体に拡張したことは、工学の画期的な発展の数々へとつながった。(1.2)	
<p><b>理解</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ モーメント (トルク)</li> <li>・ 慣性モーメント</li> <li>・ 回転運動や並進運動でのつり合い</li> <li>・ 角加速度</li> <li>・ 一定の角加速度における回転運動の公式</li> <li>・ 力学の第2法則の回転運動への応用</li> <li>・ 角運動量の保存</li> </ul> <p><b>知識・スキルの活用</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 複数の力および偶力によるモーメント (トルク) を計算する。</li> <li>・ 慣性モーメント、モーメント (トルク)、および角加速度に関する問題を解く。</li> <li>・ 回転運動および並進運動において平衡状態にある物体に関する問題を解く。</li> </ul>	<p><b>「知の理論」(TOK)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 特定の仮定上でつくられたモデルは、その仮定の上では常に正しいが、仮定が変化した場合は拡張や修正、あるいは置換がなされる。自然科学や他の知的分野において、まったく変化をみせないモデルは存在するだろうか。</li> </ul> <p><b>自然や人間生活との関わり</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 構造設計や土木工学は剛体などにおける力学に依存する。</li> </ul> <p><b>ねらい</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ <b>ねらい7</b>：コンピュータシミュレーションの技術の進歩で、物体にはたらく複雑な作用の結果も正確にモデル化することができるようになった。</li> </ul>

<p><b>B.1 剛体と回転運動の力学</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 運動量に対する角運動量など、線形運動のものと対応する回転運動の物理量に関する問題を解く。</li> <li>• 回転運動に関するグラフを描き、解釈する。</li> <li>• 滑らずに転がる物体の運動に関する問題を解く。</li> </ul> <p><b>指導</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 簡単な形の物体のみを分析する。</li> <li>• 特定の形の慣性モーメントを求めるための公式は、必要に応じて与えられる。</li> <li>• グラフでは、角変位対時間、角速度対時間、およびモーメント（トルク）対時間を軸にとるものだけを扱う。</li> </ul> <p><b>I B 資料『物理資料集』関連項目</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\Gamma = Fr \sin\theta</math></li> <li>• <math>I = \sum mr^2</math></li> <li>• <math>\Gamma = I\alpha</math></li> <li>• <math>\omega = 2\pi f</math></li> <li>• <math>\omega_f = \omega_i + \alpha t</math></li> <li>• <math>\omega_f^2 = \omega_i^2 + 2\alpha\theta</math></li> <li>• <math>\theta = \omega_i t + \frac{1}{2}\alpha t^2</math></li> <li>• <math>L = I\omega</math></li> <li>• <math>E_{\text{K,rot}} = \frac{1}{2}I\omega^2</math></li> </ul>
------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

**【学習のポイント】** 熱力学第一法則は、系の内部エネルギーの変化を、伝達されたエネルギーおよび仕事と関連づける。自然のエントロピーは増加する傾向がある。

<b>B.2 熱力学</b>	
<b>「科学の本質」(NOS) との関わり</b>	
さまざまな視点——同等の意味をもつが、異なる表現が3つ存在する熱力学の第二法則は、抽象的な概念の検証や確認において、複数の研究者の協力が欠かせないことを示している。(4.1)	
<b>理解</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>熱力学第一法則</li> <li>熱力学第二法則</li> <li>エントロピー</li> <li>循環過程と<i>pV</i>図</li> <li>定積、定圧、等温、断熱変化</li> <li>カルノーサイクル</li> <li>熱効率</li> </ul>	<b>国際的な視野</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>19世紀、熱力学の発展の過程では、世界中の数々の科学者の間で激しい議論が行われた。</li> </ul> <b>自然や人間生活との関わり</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>熱力学は、現代社会で大きな役割を果たしている熱機関の概念に直結している。</li> <li>宇宙の熱死的な終焉の可能性は、エントロピーの増大の概念に基づいている。</li> <li>「化学」15.2—エントロピーの化学</li> </ul> <b>自然や人間生活との関わり</b> <b>ねらい</b> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>ねらい5</b>：熱力学第二法則の発展は、科学的追求において協力の重要性を示す。</li> <li><b>ねらい10</b>：さまざまな科学分野における類似点などは明らかである。</li> </ul>
<b>知識・スキルの活用</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>熱力学第一法則をエネルギー保存の表現として説明する。</li> <li>熱力学第一法則を <math>Q = \Delta U + W</math> の式で表すときの符号に関する規約を説明する。</li> <li>熱力学第一法則に関する問題を解く。</li> <li>熱力学第二法則を、クラウジウスの法則、ケルビンの法則、およびエントロピー増大則として説明する。</li> <li>さまざまな過程をエントロピーの変化により説明する。</li> <li>エントロピーの変化に関する問題を解く。</li> <li>循環過程のグラフを描き、解釈する。</li> <li><math>pV\frac{1}{3} =</math> 定数の関係を用い、単原子分子気体における断熱過程に関する問題を解く。</li> <li>熱効率に関する問題を解く。</li> </ul>	

<p><b>B.2 熱力学</b></p> <p><b>指導</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>カルノーサイクル以外のサイクルを定量的に扱う場合、詳細はその都度提供される。</li> <li><math>pV</math> 図において圧力が変化する場合に行われる仕事の計算では、グラフ解析のみを必要とする。</li> </ul> <p><b>I B 資料『物理資料集』関連項目</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><math>Q = \Delta U + W</math></li> <li><math>U = \frac{3}{2} nRT</math></li> <li><math>\Delta S = \frac{\Delta Q}{T}</math></li> <li><math>pV^{\frac{5}{3}} = \text{定数}</math> (単原子分子気体)</li> <li><math>W = p\Delta V</math></li> <li><math>\eta = \frac{\text{行われた有効な仕事}}{\text{加えられたエネルギー}}</math></li> <li><math>\eta_{\text{Carnot}} = 1 - \frac{T_{\text{cold}}}{T_{\text{hot}}}</math></li> </ul>	
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--



【学習のポイント】流体は質点の集まりとしてモデル化できない。圧縮において固体とは異なる反応を示す特徴を理解するためには、深い研究が必要である。

<p><b>B.3 流体と流体力学</b></p>	<p><b>「科学の本質」(NOS) との関わり</b> 人間の理解——流体の理解とモデル化は、タービンの開発、航空機や自動車における空気力学、血流の測定など、多くの技術において重要である。(1.1)</p> <p><b>理解</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 密度と圧力</li> <li>・ 浮力とアルキメデスの原理</li> <li>・ パスカルの原理</li> <li>・ 静水圧平衡</li> <li>・ 理想流体</li> <li>・ 流線</li> <li>・ 連続方程式</li> <li>・ ベルヌーイの方程式とベルヌーイ効果</li> <li>・ ストークスの法則と粘度</li> <li>・ 層流、乱流、およびレイノルズ数</li> </ul> <p><b>知識・スキルの活用</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ アルキメデスの原理を利用して浮力を求める。</li> <li>・ 圧力、密度、およびパスカルの原理に関する問題を解く。</li> <li>・ ベルヌーイの方程式および連続方程式に関する問題を解く。</li> <li>・ ベルヌーイの効果が見られる状況を説明する。</li> </ul> <p><b>国際的な視野</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ ダムや灌漑など、水源の管理には流体の知識が必要とされる。これらの資源は国境を越え共用されるが、資源の所有権や利用をめぐる紛争につながることもある。</li> </ul> <p><b>「知の理論」(TOK)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ アルキメデスが大発見の瞬間に発した「ユウレカ」という言葉の逸話の存在は、時代を超えて伝えられる科学知識の継承のあり方の一例を示している。逸話や神話は、科学知識の継承においてどのような役割を果たしているだろうか。発祥地における知識体系のなかで継承される際の、逸話の役割はどのようなものだろうか。</li> </ul> <p><b>自然や人間生活との関わり</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 水力発電所</li> <li>・ 航空機や車両の空気力学的設計</li> <li>・ 動脈における血流の理解に流体力学は欠かせない。</li> <li>・ 「スポーツ・エクササイズ・健康科学」(SL) トピック 4.3 —— 生体力学</li> </ul>
---------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<p><b>B.3 流体と流体力学</b></p>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 層流において球体を受ける摩擦抗力を説明する。</li> <li>・ ストークスの法則に関する問題を解く。</li> <li>・ 単純な条件でのレイノルズ数を計算する。</li> </ul> <p><b>指導</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 理想流体は、非粘性、非圧縮性、および定常流の流体であると見なす。</li> <li>・ 容器から外への流体の流れ、ピトー管を用いた飛行機の速度の計測、ベンチュリ管などにベルヌーイの方程式の応用をすることも考えられる。</li> <li>・ 試験ではベルヌーイの方程式の証明は問わない。</li> <li>・ 層流および乱流は簡単な条件下のみで扱う。</li> <li>・ 層流の条件は <math>R &lt; 10^3</math> の関係式で表されるものとする。</li> </ul> <p><b>I B 資料 『物理資料集』 関連項目</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ <math>B = \rho_f V_f g</math></li> <li>・ <math>P = P_0 + \rho_f g d</math></li> <li>・ <math>Av = \text{定数}</math></li> <li>・ <math>\frac{1}{2} \rho v^2 + \rho g z + p = \text{定数}</math></li> <li>・ <math>F_D = 6\pi\eta r v</math></li> <li>・ <math>R = \frac{vr\rho}{\eta}</math></li> </ul>	<p><b>ねらい</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ <b>ねらい2</b>：流体力学は、大学における物理および工学で必須とされる。</li> <li>・ <b>ねらい7</b>：流体力学はその複雑さにより、コンピュータソフトウェアを通じて視覚化に適している。</li> </ul>

【学習のポイント】現実の発振器の利用では、減衰が起こる点を考慮しなければならない。

B.4 強制振動と共振	
<p><b>「科学の本質」(NOS) との関わり</b></p> <p>リスク評価——共振と強制振動の概念は、電気振動から土木構造物の安全設計まで、工学の分野で広く応用されている。大規模な建築物では、建設前にあらゆる効果をモデル化することが安全のため不可欠である。(4.8)</p>	<p><b>国際的な視野</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>ラジオやテレビにおける信号による通信は、放送信号の共振に基づいている。</li> </ul> <p><b>自然や人間生活との関わり</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>減衰振動をみせる発振器の実際のふるまいのモデル化では、科学と技術が協力しなければならない。</li> </ul> <p><b>ねらい</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>ねらい6</b>：さまざまな振動数で振動する表面上の砂の観察・音叉などの発振器において減衰効果の増加の探索・強制振動における駆動振動数の使用の観察などの実験を行うことも考えられる。</li> <li><b>ねらい7</b>：電子回路、原子や分子、あるいはラジオおよびテレビ通信における共振の使用の学習には、コンピュータソフトウェアを利用するのが最適である。</li> </ul>
<p><b>理解</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>固有振動数</li> <li>Q値と減衰</li> <li>周期的な刺激と駆動振動数</li> <li>共振</li> </ul> <p><b>知識・スキルの活用</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>不足減衰、過減衰、および臨界減衰をみせる振動の例を、定性的および定量的に説明する。</li> <li>物体の固有振動数に近い駆動振動数における振動の振幅の変化をグラフを用いて説明する。</li> <li>駆動振動数と強制振動における位相の関係を説明する。</li> <li>Q値に関する問題を解く。</li> <li>共振が起こしえる有益および破壊的な効果を説明する。</li> </ul>	<p><b>指導</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>振幅にみられる共振のみを必須とする。</li> </ul> <p><b>I B 資料『物理資料集』関連項目</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><math>Q = 2\pi \frac{\text{蓄えられたエネルギー}}{\text{周期毎に散逸するエネルギー}}</math></li> <li><math>Q = 2\pi \times \text{共振周波数} \times \frac{\text{蓄えられたエネルギー}}{\text{エネルギー散逸率}}</math></li> </ul>

## SL・HL共通項目のトピック

15時間

【学習のポイント】波の進行は、光線あるいは波面を用いてモデル化できる。異なる媒質の境界面で波の速度が変化するとき、波形も変化する。

C.1 イメージングの基礎	
「科学の本質」(NOS) との関わり 演繹理論——虚像を通じて、レンズや反射鏡の解析をすることができる。(1.6)	
理解	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 薄いレンズ</li> <li>・ 凸レンズと凹レンズ (レンズにおける光の収束と発散)</li> <li>・ 凸面鏡と凹面鏡 (反射鏡における光の収束と発散)</li> <li>・ 光路図</li> <li>・ 実像と虚像</li> <li>・ 倍率と角倍率</li> <li>・ 球面収差と色収差</li> </ul>
知識・スキルの活用	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 透明な物質でつくられる曲面が入射波面をどのようにに変化させるかを説明する。</li> <li>・ 凸レンズと凹レンズの簡単な縮図において、主軸、焦点、および焦点距離を特定する。</li> <li>・ 光路図の縮図を用いて、1つか2つのレンズに関する問題を解く。</li> <li>・ 光路図の縮図を用いて、1つか2つの曲面鏡に関する問題を解く。</li> <li>・ 薄いレンズの公式、横倍率、および角倍率に関する問題を解く。</li> <li>・ 球面収差や色収差、およびその影響を減らす方法を説明する。</li> </ul>
国際的な視野	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 光学は、グレゴ・ローマン初期および中世イスラムの時代より発展してきた、歴史のある分野である。</li> </ul> <p>「知の理論」(TOK)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 正負の符号に関する規約は、科学者を感情的にするような影響をもたらす得るだろうか。</li> </ul> <p>自然や人間生活との関わり</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 顕微鏡および望遠鏡</li> <li>・ 眼鏡およびコンタクトレンズ</li> </ul> <p>ねらい</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ <b>ねらい3</b>：私たちの視覚のはたらきへの好奇心から始まった光学の理論は、便利な技術を新たに生み出すために重要であり続ける。</li> <li>・ <b>ねらい6</b>：光学台を利用した倍率の計算・レンズにより結像される実像と虚像の探索・収差の観察などの実験を行うことも考えられる。</li> </ul>

## C.1 イメージングの基礎

## 指導

- レンズを透過する光のふるまいは、光線および波面の両方の観点から生徒が扱えることが望ましい。
- 曲面鏡は、凹面鏡や放物面集光鏡、および凸面鏡のみを扱う。
- レンズは薄いものを扱う。
- 「レンズメーカーの式」は必要でない。
- 試験における正負符号の規約は、実像を正とするものを使う。

## I B 資料『物理資料集』関連項目

- $\frac{1}{f} = \frac{1}{v} + \frac{1}{u}$
- $P = \frac{1}{f}$
- $m = \frac{h_i}{h_o} = -\frac{v}{u}$
- $M = \frac{\theta_i}{\theta_o}$
- $M_{\text{near point}} = \frac{D}{f} + 1; M_{\text{infinity}} = \frac{D}{f}$

【学習のポイント】光学顕微鏡や望遠鏡は、レンズや反射鏡と物理的に似通った性質を利用している。宇宙の研究では、望遠鏡による可視光や電波望遠鏡による電波など、電磁スペクトルのあらゆる領域の調査をしている。

<p><b>C.2 光学機器</b></p>	<p><b>「科学の本質」(NOS) との関わり</b></p> <p>計測機器の改善——光学望遠鏡は、500年以上にわたり利用されており、人類による宇宙の観測や仮説の構築を可能にしてきた。より最近では、電波望遠鏡が開発され、電磁スペクトルにおける可視光以外の部分も探索されるようになっていく。可視光や電波などを観測する望遠鏡は、大気による信号の歪みの影響を避けるため、今では地球の大気の外軌道にのる望遠鏡も存在し、地上の観測では受信された信号を光学的に矯正する技術も利用されている。数々の宇宙望遠鏡が打ち上げられており、赤外線、紫外線、X線、および電磁スペクトル他の領域の膨大なデータを収集している。(1.8)</p>
<p><b>理解</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 複合顕微鏡</li> <li>・ 簡単な屈折望遠鏡</li> <li>・ 簡単な反射望遠鏡</li> <li>・ 単一鏡型電波望遠鏡</li> <li>・ 干渉電波望遠鏡</li> <li>・ 宇宙望遠鏡</li> </ul>	<p><b>国際的な視野</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 干渉電波望遠鏡の利用には、複数の大陸にまたがる電波干渉計群の設置に、国境を越えた数々の科学者の協力が欠かせない。</li> </ul> <p><b>「知の理論」(TOK)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 技術がどれだけ進歩しようが、顕微鏡と望遠鏡の利用には私たちの知覚が伴う。私たちの知覚を拡張したり修正したりすることに、技術の効果的な利用は可能だろうか。</li> </ul>
<p><b>知識・スキルの活用</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 複合顕微鏡における光路図を描き、解釈する。</li> <li>・ 複合顕微鏡における角倍率と分解能に関する問題を解く。</li> <li>・ 複合顕微鏡を実験的に調べる。</li> <li>・ 簡単な屈折望遠鏡における光路図を描き、解釈する。</li> <li>・ 簡単な光学天体望遠鏡の角倍率に関する問題を解く。</li> <li>・ 簡単な光学天体屈折望遠鏡の性能を実験的に調べる。</li> <li>・ 地上に設置された望遠鏡と宇宙望遠鏡の性能の比較を説明する。</li> </ul>	<p><b>自然や人間生活との関わり</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 「生物」1.2——細胞の観察</li> <li>・ 天文望遠鏡が収集するデータは、私たちの宇宙に関する理解を深めている。</li> <li>・ 「物理」9.4——分解能</li> </ul> <p><b>ねらい</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ <b>ねらい3</b>：顕微鏡や望遠鏡による画像は、教室での実験およびインターネットから手に入れることができ、この学習項目で学ぶ知識の応用へ役に立つ。</li> </ul>

<p><b>C.2 光学機器</b></p>	<p><b>指導</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 簡単な光学天文反射望遠鏡は、ニュートン式およびカセグレン式で設計されたものに限る。</li> <li>・ 干渉電波望遠鏡では、アンテナ群における最大距離間隔が、1つの望遠鏡の直径を近似すると見なせばよい。</li> <li>・ 干渉電波望遠鏡とは、複数の電波望遠鏡の群のことである。</li> </ul> <p><b>I B 資料『物理資料集』関連項目</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ <math>M = \frac{f_o}{f_e}</math></li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ <b>ねらい5</b>：天文学や天体物理学の研究は、さまざまな国籍の科学者からなるチームでの協力が必要な例である。</li> <li>・ <b>ねらい6</b>：地域のアマチュア愛好家および天文学の専門機関から、夜空の天体観測の開催で協力を得られることもある。</li> </ul>

【学習のポイント】 光や赤外線は、全反射により透明なファイバーを伝わるが、光ファイバーの性能は、分散や減衰効果により低下する。

C.3 ファイバー光学	
<b>「科学の本質」(NOS) との関わり</b>	
<p>応用科学——ファイバー光学を用いた通信技術の進歩は、世界中に張り巡らされた光ファイバーによって、音声や動画などデータ全般の国際的な通信に革命をもたらした。(1.2)</p>	
<p><b>理解</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 光ファイバーの構造</li> <li>・ ステップインデックス (SI) 型ファイバーとグレーデッドインデックス (GI) 型ファイバー</li> <li>・ 全反射と臨界角</li> <li>・ 導波路と光ファイバーにおける材料分散</li> <li>・ 減衰とデシベル (dB) スケール</li> </ul>	<p><b>国際的な視野</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 海底ケーブルは、大陸間における通信において重要である。</li> </ul> <p><b>自然や人間生活との関わり</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 光速を超えた速さで情報伝達ができないことは、通信能力がいくら限界に達することを意味するだろうか。</li> </ul> <p><b>ねらい</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ <b>ねらい1</b>：この技術は国際的な通信の効率を向上することに貢献している。</li> <li>・ <b>ねらい9</b>：分散効果は、超えられない限界が技術の利用と切り離せない部分として存在することを例示する。</li> </ul>
<p><b>知識・スキルの活用</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ ファイバー光学における全反射および臨界角に関する問題を解く。</li> <li>・ 導波路と材料分散が減衰へとつながる過程とその対処方法を説明する。</li> <li>・ 減衰に関する問題を解く。</li> <li>・ ツイストペアケーブルおよび同軸ケーブルに比べた光ファイバーの利点を説明する。</li> </ul>	<p><b>指導</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 減衰では定量的な説明を必要とし、単位長さあたりの減衰の概念を用いること。</li> <li>・ 試験においては「導波路分散」という用語を使う。これは「モード分散」と呼ばれることもある。</li> </ul>



C:3 ファイバー光学	<p data-bbox="296 1682 325 2056"><b>I B 資料『物理資料集』関連項目</b></p> <ul data-bbox="336 1823 475 2040" style="list-style-type: none"><li data-bbox="336 1899 400 2040">• <math>n = \frac{1}{\sin c}</math></li><li data-bbox="411 1823 475 2040">• 減衰 = <math>10 \log \frac{I}{I_0}</math></li></ul>
-------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

## HL 発展項目のトピック

10時間

**【学習のポイント】** 人体は、体内および体外から発生する放射を利用して写像することができる。この技術は、医師が患者の身体に直接手をつけずに、より良い診断を下すことを可能にしている。

C.4 医療イメージング	
<p><b>「科学の本質」(NOS) との関わり</b></p> <p>リスク評価——医師の役割の1つは、患者にもたらす利益の総合的な評価に基づき、診断や医療処置におけるリスクを軽減することである。人体に通される放射線の減衰などには、確率的な考え方が用いられている。(4.8)</p>	
<p><b>理解</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>医療におけるX線画像の検出および記録</li> <li>医療における超音波の生成と検出</li> <li>磁気共鳴画像や核磁気共鳴を含む医療イメージングの技術</li> </ul> <p><b>知識・スキルの活用</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>減衰係数、半価層、線吸収係数、質量吸収係数、およびシヤープネスやコントラストを向上させる技術など、X線撮影におけるさまざまな特徴を説明する。</li> <li>X線における減衰に関する問題を解く。</li> <li>超音波での音響インピーダンス、体内組織や空気における超音波の速度、および相対的な強度に関する問題を解く。</li> <li>周波数の選択、ゲルの使用、AスキャンとBスキャンの違いを含む、医療における超音波の技術の特徴を説明する。</li> </ul>	<p><b>国際的な視野</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>患者の利益を考えた新しい医療処置を考える議論は、世界中の臨床医の間で常に行われている。</li> <li>「国境なき医師団」のような組織は、医療の助けが十分に届かない地域で、貴重な医療サービスを提供している。</li> </ul> <p><b>「知の理論」(TOK)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>ヘンリー・デイビッド・ソローは「何に目を向けるかではなく、何を見てとるかだ」と述べた。能動的であることの知覚への効果に関するこの言葉に、あなたはどれだけ同意するだろうか。</li> </ul> <p><b>自然や人間生活との関わり</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>「生物」A.4——人間の脳のスキャン</li> </ul> <p><b>ねらい</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>ねらい4</b>：生徒が科学的な情報を解析や評価する機会は多数存在する。</li> </ul>

C.4 医療イメージング	
<ul style="list-style-type: none"> <li>核磁気共鳴法における磁場勾配の利用を説明する。</li> <li>核磁気共鳴法における陽子スピンの緩和および放出の起源について説明する。</li> <li>医療処置におけるリスクの簡単な評価を含んだ、超音波および核磁気共鳴法それぞれの利点と欠点を議論する。</li> </ul> <p><b>指導</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>複数の層を通過後の信号強度を計算することが生徒に求められる。その際は層が平行に並ぶものを扱う。</li> </ul> <p><b>I B 資料『物理資料集』関連項目</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><math>L_1 = 10 \log \frac{I_1}{I_0}</math></li> <li><math>I = I_0 e^{-\mu x}</math></li> <li><math>\mu x_{\frac{1}{2}} = \ln 2</math></li> <li><math>Z = \rho c</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>ねらい 8</b>：これら科学技術が社会的に及ぼす人類への利益は計り知れない。</li> <li><b>ねらい 10</b>：スキヤニングおよび治療におけるハイテクな世界で、医療と物理が出会いを果たしている。現代の医者は、物理学の発展から生じる技術に依存している。</li> </ul>

# SL・HL共通項目のトピック

15時間

**【学習のポイント】** 天文学において最も難しい問題の1つは、恒星や銀河の間の広大な距離およびその正確な測定方法の確立である。

<p><b>D.1 恒星にまつわる物理量</b></p>	<p><b>「科学の本質」(NOS) との関わり</b>                  現実——恒星および銀河の距離および明るさの系統的な測定は、想像しがたいスケールにおける宇宙の理解につながっている。(1.1)</p>
<p><b>理解</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>宇宙に存在する物体</li> <li>恒星の性質</li> <li>天文学における距離</li> <li>恒星視差とその限界</li> <li>光度と見かけの明るさ</li> </ul> <p><b>知識・スキルの活用</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>宇宙に存在するさまざまな物体を特定する。</li> <li>恒星内における圧力と重力の均衡を定性的に説明する。</li> <li>天文単位 (AU)、光年 (ly)、およびパーセク (pc) の単位を使用する。</li> <li>恒星視差から距離を求める方法を説明する。</li> <li>光度、見かけの明るさ、および距離に関する問題を解く。</li> </ul>	<p><b>「知の理論」(TOK)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>恒星や銀河の間の広大な距離は想像をこえており、理解が難しい。天文学の知識を得るにあたり、想像力以上に効果的な方法はあるだろうか。</li> </ul> <p><b>自然や人間生活との関わり</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>恒星視差は、地球上からの距離の正確な測定を可能にする。</li> </ul> <p><b>ねらい</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>ねらい1</b>：手に届かないほど遠くに存在する物体を分析するには、創造力が必要である。</li> <li><b>ねらい6</b>：地域のアマチュア愛好家および天文学の専門機関から、夜空の天体観測の開催で協力を得られることもある。</li> <li><b>ねらい9</b>：宇宙のより遠くを観察するにつれ、現在の技術で可能となる正確な計測能力の限界に近づいている。</li> </ul>
<p><b>指導</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>この科目で扱う宇宙の物体は、惑星、彗星、恒星 (単星および連星)、惑星系、星座、星団 (散開星団および球状星団)、星雲、銀河、銀河団、および超銀河団である。</li> <li>惑星系、超銀河団、さらに宇宙全体へと、距離のスケールは段階的に大きな変化を見せることを生徒に理解させる。</li> </ul>	

D.1 恒星にまつわる物理量	<p data-bbox="295 1680 327 2049"><b>I B 資料『物理資料集』関連項目</b></p> <ul data-bbox="335 1747 534 2049" style="list-style-type: none"><li data-bbox="335 1747 399 2049">• <math>d</math> (パーセク) = <math>\frac{1}{p}</math> (秒)</li><li data-bbox="414 1870 446 2049">• <math>L = \sigma AT^4</math></li><li data-bbox="462 1870 534 2049">• <math>b = \frac{L}{4\pi d^2}</math></li></ul>
----------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

**【学習のポイント】** 恒星の光度と表面温度を表す簡単なグラフには、恒星の内部の仕組みの理解に役立つ詳細なパターンが現れる。星間ガスの集積に始まる星の一生は、主系列系での活動からその死まで、明確なパターンに従っている。

D.2 恒星の性質と進化	
<p><b>「科学の本質」(NOS) との関わり</b></p> <p>証拠——地球上の気体のスペクトルは、遠い星のスペクトルと比較することができる。比較を通じて星の速度、組成、および構成を調べることができ、宇宙の膨張の確認へとつながった。(1.11)</p>	<p><b>理解</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>恒星のスペクトル</li> <li>ヘルツシュプルング・ラッセル図 (HR図)</li> <li>主系列星における質量光度関係</li> <li>ケフェイド変光星</li> <li>恒星進化とHR図</li> <li>赤色巨星、白色矮星、中性子星、ブラックホール</li> <li>チャンドラセカール限界とトルマン・オッペンハイマー・ヴォルコフ限界</li> </ul> <p><b>知識・スキルの活用</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>星のスペクトルを使った表面温度の見積もり方を説明する。</li> <li>星のスペクトルを使った星の化学的組成の調べ方を説明する。</li> <li>HR図を描き、解釈する。</li> <li>HR図の主な領域を見極め、その部分にある星の主要な特性を説明する。</li> <li>質量光度関係を応用する。</li> <li>ケフェイド変光星が変光する理由を説明する。</li> <li>ケフェイド変光星のデータをを用いて距離を計算する。</li> <li>HR図においての恒星の進化を描き、解釈する。</li> <li>主系列を離れた星の進化を説明する。</li> <li>恒星進化における質量の役割を説明する。</li> </ul>
	<p><b>「知の理論」(TOK)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>スペクトルを通じて得られる情報は、訓練された研究者によって解釈される。自然科学の知識を得ることにおける、解釈することの役割は何だろうか。この役割は、他の知識領域ではどのように異なるだろうか。</li> </ul> <p><b>自然や人間生活との関わり</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>太陽と物理的に同様の恒星の進化を理解することは、太陽の運命を予測することに役立つ。</li> </ul> <p><b>ねらい</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>ねらい4</b>：星のスペクトルの分析を通して知識の評価や統合の機会は多く存在する。</li> <li><b>ねらい6</b>：生徒が天体物理学の研究に参加するための、コンピュータソフトウェアを利用した解析も使用できる。</li> </ul>

<p><b>D.2 恒星の性質と進化</b></p>	<p><b>指導</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>HR図に見られる特徴で注意するものは、主系列星、白色矮星、赤色巨星、超巨星、不安定帯（変光星）、および半径一定の線に限る。</li> <li>HR図では、光度を縦軸、表面温度を横軸にとる。</li> <li>質量光度関係においては、指数を3.5ととるものだけを扱う。</li> <li>電子および中性子の縮退圧の役割の説明は必要とする。</li> </ul> <p><b>IB資料『物理資料集』関連項目</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><math>\lambda_{\text{max}} T = 2.9 \times 10^{-3} \text{ mK}</math></li> <li><math>L \propto M^{3.5}</math></li> </ul>
----------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

【学習のポイント】 ビッグバン宇宙モデルは、数多くの証拠により支持されている、宇宙の起源と膨張を説明する理論である。

<p><b>D.3 宇宙論</b></p>	<p><b>「科学の本質」(NOS) との関わり</b></p> <p>オッカムの剃刀—— ビッグバン理論は、宇宙背景放射の発見により確認されるまで、推測の域を出ていなかった。このモデルは、私たちが今日観測できる宇宙のさまざまな側面を正しく説明できるものの、最初の特異点において何が起ったのかは説明しない。(2.7)</p>
<p><b>理解</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ ビッグバン理論</li> <li>・ 宇宙背景放射 (CMB)</li> <li>・ ハッブルの法則</li> <li>・ 加速膨張宇宙と赤方偏移 (<math>z</math>)</li> <li>・ スケールファクター (<math>R</math>)</li> </ul> <p><b>知識・スキルの活用</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 時間および空間の起源がビッグバンにあることを説明する。</li> <li>・ 宇宙背景放射の特徴を説明する。</li> <li>・ なぜ宇宙背景放射がビッグバンの証拠とされるのかを説明する。</li> <li>・ 赤方偏移、スケールファクター、およびハッブルの法則に関する問題を解く。</li> <li>・ 膨張率が一定の仮定において宇宙の年齢を見積もる。</li> </ul>	<p><b>国際的な視野</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 宇宙背景放射の観測と分析は、世界中の科学者の貢献により可能となった。</li> </ul> <p><b>自然や人間生活との関わり</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 「物理」 9.5——ドップラー効果</li> </ul> <p><b>ねらい</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ <b>ねらい1</b>：ブラックホールの説明には大きな創造力が必要となる。</li> <li>・ <b>ねらい9</b>：自然への理解の限界は、宇宙において起こり得る現象を観測する私たちの能力に依存する。</li> </ul>
<p><b>指導</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 宇宙背景放射は、等方的であり、温度は <math>T \approx 2.76 \text{ K}</math> と見なす。</li> <li>・ 宇宙背景放射では、宇宙の温度が下がったこと、または膨張による空間の距離の広がりに伴い、光の波長が伸びたという説明を行えばよい。</li> <li>・ 加速膨張宇宙の証拠としての Ia 型超新星の役割の定性的な説明は必要とする。</li> </ul>	



D.3 宇宙論	<p data-bbox="295 1680 327 2049"><b>I B 資料『物理資料集』関連項目</b></p> <ul data-bbox="335 1836 638 2049" style="list-style-type: none"><li data-bbox="335 1836 399 2049">• <math>z = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} \approx \frac{v}{c}</math></li><li data-bbox="414 1836 478 2049">• <math>z = \frac{R}{R_0} - 1</math></li><li data-bbox="494 1836 558 2049">• <math>v = H_0 d</math></li><li data-bbox="574 1836 638 2049">• <math>T \approx \frac{1}{H_0}</math></li></ul>
---------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

【学習のポイント】 星の内部で起こる核融合のプロセスは、原子核物理学の法則に従い、鉄までの元素を生成する。

D.4 星における物理過程	
<p>「科学の本質」(NOS) との関わり                  観測と演繹——恒星のスペクトルの観測は、星にはさまざまな元素が存在することを示した。核融合の理論からの演繹で、この観測を説明することができた。(1.8)</p>	
<p><b>理解</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ ジーンズの基準</li> <li>・ 核融合</li> <li>・ 主系列星になる前後の元素合成</li> <li>・ I a 型およびII型超新星</li> </ul> <p><b>知識・スキルの活用</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 星形成においてジーンズの基準を応用する。</li> <li>・ 主系列星になる前後の星の進化におけるさまざまな核融合反応を説明する。</li> <li>・ 質量光度関係を応用し、主系列での寿命を太陽と比べる。</li> <li>・ 恒星では達成不可能な温度の必要性などを含んだ、星における鉄より重い元素の生成過程を説明する。</li> <li>・ 中性子捕獲の過程における s および r 過程を定性的に説明する。</li> <li>・ I a 型とII型超新星の違いを見分ける。</li> </ul>	<p><b>ねらい</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ <b>ねらい10</b>：元素合成の分析には化学者の協力が必要である。</li> </ul>

<b>D.4 星における物理過程</b>	<b>指導</b> <ul style="list-style-type: none"><li>・ ジーンズ基準の応用では、<math>M &gt; M_J</math> 条件が満たされれば星間雲の収縮が始まると見なすなど、簡単なものだけを扱う。</li><li>・ Ia 型超新星が標準光源として利用されることを生徒は学習するべきである。</li></ul>
----------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

**【学習のポイント】** 現代の宇宙論の研究は、前例のない精度での分析を可能にする実験および観測技術を用いてデータを収集し、結果として宇宙の構造について詳細で非常に驚くべき結論を導いている。

<b>D.5 より高度な宇宙論</b>	
<b>「科学の本質」(NOS) との関わり</b>	
<p><b>理解</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>宇宙原理</li> <li>回転曲線と銀河の質量</li> <li>ダークマター</li> <li>宇宙背景放射のゆらぎ</li> <li>赤方偏移の宇宙論的起源</li> <li>臨界密度</li> <li>ダークエネルギー</li> </ul> <p><b>知識・スキルの活用</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>宇宙原理と、宇宙のモデルにおけるその役割を説明する。</li> <li>ダークマターの証拠としての回転曲線を説明する。</li> <li>ニュートン力学的な重力から回転速度を求める。</li> <li>宇宙背景放射の異方性の観測を説明し解釈する。</li> <li>ニュートン力学的な重力から臨界密度を求める。</li> <li>スケールファクターの時間による変化のグラフを描き、解釈する。</li> <li>ダークエネルギーの存在を仮定するモデル、および仮定しないモデルにおけるスケールファクターを定性的に説明する。</li> </ul> <p><b>指導</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>ダークマターの証拠として回転曲線を挙げることで、ダークマターの候補を学習することが生徒に期待される。</li> </ul>	<p><b>国際的な視野</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>宇宙論は特に国際的な共同研究が盛んな分野である。</li> </ul> <p><b>「知の理論」(TOK)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>宇宙の膨張が加速していることは観測的に示されているが、なぜ加速しているかは説明されていない。これは私たちが未来永劫理解し得ない現象の一例だろうか。</li> </ul> <p><b>ねらい</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>ねらい 2</b>：数十年前とは違い、現在の宇宙論は非常に発展し、他の物理領域とも引けをとらないほど正確な科学分野となっている。</li> <li><b>ねらい 10</b>：広大なスケールを扱う宇宙論が宇宙の運命に関する諸問題を解決するためには、微小なスケールを扱う素粒子物理学の助けが必要。重要な事実は、非常に興味深い。</li> </ul>

<p><b>D.5 より 高度な宇宙論</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• COBE、WMAP、およびプランク衛星による主要な結果を生徒が学習することが求められる。</li> <li>• 宇宙の温度とスケールファクターの間には <math>T \propto \frac{1}{R}</math> という式で表せる関係があることを生徒が示せることが期待される。</li> </ul> <p><b>I B 資料『物理資料集』 関連項目</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>v = \sqrt{\frac{4\pi G\rho}{3}} r</math></li> <li>• <math>\rho_c = \frac{3H^2}{8\pi G}</math></li> </ul>
-----------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

# ディプロマプログラムにおける評価

## 概要

評価は、指導および学習と一体化した要素です。DPでは、カリキュラム目標の達成を支援し、生徒に適切な学習を促すことを評価の最も重要なねらいとして位置づけています。

DPでは、学校外で実施されるIBによる外部評価 (external assessment)、および内部評価 (internal assessment) の両方が実施されます。外部評価のための提出課題はIB試験官が採点します。一方、内部評価のための評価課題は教師が採点し、IBによるモデレーション (評価の適正化) を受けます。

IBが規定する評価には次の2種類があります。

- ・「形成的評価」(formative assessment) は、「指導」と「学習」の両方に指針を与えます。生徒の理解と能力の発達につながるよう、学びの種類や、生徒の長所と短所といった特徴について、生徒と教師に正確で役立つフィードバックを提供します。また、形成的評価からは、科目のねらいと目標に向けての進歩をモニタリングするための情報が得られるので、指導の質の向上にもつながります。
- ・「総括的評価」(summative assessment) は、生徒のこれまでの学習を踏まえて、生徒の到達度を測ることを目的としています。

DPでは、主に履修期間の終了時または終了間近の生徒の到達度を測る総括的評価に重点が置かれています。ただし、評価方法の多くは、指導および学習期間中に形成的に用いることもできます。教師はそうした評価を実施するよう推奨されています。総合的な評価計画は、指導、学習およびカリキュラム編成と一体を成すものです。より詳しくは、IB資料『プログラムの基準と実践要綱』を参照してください。

IBが採用する評価アプローチは、評価規準に準拠した「絶対評価」です。集団規準に準拠した「相対評価」ではありません。この評価アプローチは、生徒の成果を特定の到達の度合いを示す基準に照らし合わせ、そのパフォーマンスを判断するものであり、他の生徒の成果と比較するものではありません。DPにおける評価について、より詳しくはIB資料 (英語版) 「*Diploma Program assessment: Principles and practice* (ディプロマプログラムにおける評価：原則と実践)」を参照してください。

OCCでは、DPの科目のコースデザイン、指導、および評価の分野で教師を支援するための多様なリソースを入手できます。また、リソースをIBストア (<http://store.ibo.org>) で購入することもできます。試験問題の見本やマークスキーム (採点基準)、教師用参考資料、科目レポート、評価規準の説明など、その他の資料もOCCで取り扱っています。過去の試験問題やマークスキームはIBストアで購入できます。

## 評価方法

I Bは複数の方法を用いて、生徒の成果を評価します。

## 評価規準

評価規準 (assessment criterion) は、オープンエンド型の課題に対して適用されます。各規準は生徒が身につけることが期待されている特定の能力に重点を置いています。評価目標は「何ができるべきか」を明確にし、評価規準は「どの程度よくできるべきか」を到達の度合いを示す基準に照らし合わせて測ります。評価規準を採用することで、個々のさまざまな解答の違いを識別することが可能となり、多様な解答を奨励することにつながります。

各規準には、どのような基準を満たすと特定のレベルに到達していると判断されるのかが詳細に説明されています。その説明は到達レベル別に段階的に並べられ、レベルごとに1つまたは複数の点数が設けられています。また、採点ではベストフィット(適合)モデルを用いて、各規準を個別に適用します。何点かその規準の満点となるかは規準の重要度に応じて異なる場合があります。各規準での得点を合計したものを、その課題に対する総合点とします。

## マークバンド (採点基準表)

マークバンド (採点基準表) は、求められる学習成果の基準を一覧にまとめた表です。教師はマークバンドに照らし合わせて、生徒の到達度を判断します。規準ごとに、到達レベルに沿って段階的に到達の度合いを示す基準が並べられています。生徒の学習成果の違いを識別するために、各レベルの点数には幅をもたせてあります。個々の学習成果物について、どの点数をつけるかを確定するには、ベストフィット(適合)アプローチを用います。

## マークスキーム (採点基準)

この用語は特定の試験問題のために用意された分析的マークスキーム (採点基準) のことを指します。分析的マークスキームは、生徒の最終的な解答や、その他特定の種類の答案を要求する試験問題のために作成されます。これらは、各設問に対する総合点を生徒の解答の異なる部分についてどのように配分するかについて試験官に詳細な指示を与えるものです。このマークスキームには、試験問題の解答で求められる内容や、評価規準をどのように適用するかについての手引きとなる採点のための注意事項などが含まれます。

## 採点のための注意事項

評価規準を用いて採点される評価要素には、<sup>コンポーネント</sup>「採点のための注意事項」(marking note) がついている場合があります。採点のための注意事項は、設問に課されている特定の要件に対し、評価規準をどのように適用するかについて指針を示すものです。

## 受験上の配慮

国際バカロレア資格取得志願者で評価の際に配慮を必要とする志願者は、受験上の配慮を受けることができます。受験上の配慮を設けることで、さまざまなニーズをもつ志願者が最終試験を受験し、評価対象である知識や理解を身につけたかどうかを示すことができます。

I B資料『受験上の配慮の必要な志願者について』には、学習支援を必要とする志願者が受けられる、すべての受験上の配慮についての詳細が記されています。I B資料（英語版）『*Learning diversity within the International Baccalaureate programmes/Special educational needs within the International Baccalaureate programmes*（I Bプログラムにおける学習の多様性／I Bプログラムにおける特別な教育的ニーズ）』では、I Bプログラムにおける多様な学習ニーズをもつ志願者についてのI Bの基本方針を概説しています。受験の支障となり得る特別な事情のある志願者については、I B資料（英語版）『*General Regulations: Diploma Programme*（総則：DP編）』および『DP手順ハンドブック』に対応の詳細が記されています。

## 学校の責任

学校は学習支援を必要とする志願者に対し、I B資料『受験上の配慮の必要な志願者について』および『*Learning diversity within the International Baccalaureate programmes/Special educational needs within the International Baccalaureate programmes*（I Bプログラムにおける学習の多様性／I Bプログラムにおける特別な教育的ニーズ）』に従って、平等に評価を受けるための配慮と妥当な調整を行わなければなりません。



## 評価の概要 — 標準レベル (SL)

2016年第1回評価

評価要素	配点比率 (%)	目標ごとのおよその配点比率 (%)		試験時間 (時間)
		1 + 2	3	
試験問題 1	20	10	10	$\frac{3}{4}$
試験問題 2	40	20	20	1 $\frac{1}{4}$
試験問題 3	20	10	10	1
内部評価	20	評価目標 1、2、3、4 に対応		10

## 評価の概要——上級レベル（HL）

2016年第1回評価

評価要素	配点比率 (%)	目標ごとのおよその配点比率 (%)		試験時間 (時間)
		1 + 2	3	
試験問題 1	20	10	10	1
試験問題 2	36	18	18	2 ¼
試験問題 3	24	12	12	1 ¼
内部評価	20	評価目標 1、2、3、4 に対応		10

## 外部評価

答案は、各試験問題ごとに作成されたマークスキーム(採点基準)に基づいて採点されます。

### 外部評価——標準レベル (S L)

#### 試験問題 1

試験時間： $\frac{3}{4}$ 時間

配点比率：20%

満点：30点

- ・「S L・H L 共通項目」に関する 30 問の多肢選択問題。そのうち約 15 問は H L と共通。
- ・「試験問題 1」では、評価目標 1、2、3 についての到達度が測られる。
- ・電卓の使用は認められない。
- ・不正解の解答は減点されない。
- ・『物理資料集』が配布される。

#### 試験問題 2

試験時間：1  $\frac{1}{4}$  時間

配点比率：40%

満点：50点

- ・「S L・H L 共通項目」に関する短答式問題と論述式問題。
- ・「試験問題 2」では、評価目標 1、2、3 についての到達度が測られる。
- ・電卓の使用は認められる (O C C の「Calculator (電卓)」セクションを参照)。
- ・『物理資料集』が配布される。

#### 試験問題 3

試験時間：1 時間

配点比率：20%

満点：35点

- ・「S L・H L 共通項目」および「S L 選択項目」に関する問題。
- ・セクション A：データに基づく問題 1 問と、実験スキルに関する複数の短答式問題。
- ・セクション B：1 つの選択項目からの短答式問題と論述式問題。

- ・「試験問題3」では、評価目標1、2、3についての到達度が測られる。
- ・電卓の使用は認められる（OCCの「Calculator（電卓）」セクションを参照）。
- ・『物理資料集』が配布される。

## 外部評価の詳細——上級レベル（HL）

### 試験問題1

試験時間：1時間

配点比率：20%

満点：40点

- ・「SL・HL共通項目」および「HL発展項目」に関する40問の多肢選択問題。そのうち約15問はSLと共通。
- ・「試験問題1」では、評価目標1、2、3についての到達度が測られる。
- ・電卓の使用は認められない。
- ・不正解の解答は減点されない。
- ・『物理資料集』が配布される。

### 試験問題2

試験時間：2¼時間

配点比率：36%

満点：95点

- ・「SL・HL共通項目」および「HL発展項目」についての短答式問題と論述式問題。
- ・「試験問題2」では、評価目標1、2、3についての到達度が測られる。
- ・電卓の使用は認められる（OCCの「Calculator（電卓）」セクションを参照）。
- ・『物理資料集』が配布される。

### 試験問題3

試験時間：1¼時間

配点比率：24%

満点：45点

- ・「SL・HL共通項目」「HL発展項目」および「選択項目」に関する問題。
- ・セクションA：データに基づく問題1問と、実験スキルに関する複数の短答式問題。
- ・セクションB：1つの選択項目からの短答式問題と論述式問題。
- ・「試験問題3」では、評価目標1、2、3についての到達度が測られる。
- ・電卓の使用は認められる（OCCの「Calculator（電卓）」セクションを参照）。
- ・『物理資料集』が配布される。

## 内部評価

### 内部評価の目的

内部評価は授業と一体を成す要素であり、SLとHLのいずれのレベルの生徒も必ず取り組まなければなりません。内部評価課題では、筆記試験でのように時間の制限やその他の制約に左右されることなく、それぞれの興味を追い求めつつ、知識とスキルの活用を示すことができます。内部評価はできる限り通常の授業に織り込まれるべきであり、履修期間の終了後に別途実施されるべきではありません。

なお、内部評価の要件はSLとHLで共通です。本セクションは、教師用参考資料の内部評価のページと併せて読むようにしてください。

### 指導と「生徒本人が取り組んだものであること」の認証

内部評価のために提出される学習成果物は生徒自身が取り組んだものでなければなりません。しかし、学習成果物が「生徒本人が取り組んだものである」ことは、生徒自身がタイトルやトピックを決め、教師からの支援を一切受けずに、独自に内部評価課題に取り組まなければならないということではありません。教師は、生徒が内部評価課題を計画する段階と取り組む段階で重要な役割を果たします。生徒に以下の点について確実に理解させるのは、教師の責任です。

- ・ 内部評価の対象となる課題についての要件
- ・ IBの動物実験に関する方針
- ・ 評価規準——評価課題を通じて、生徒は与えられた評価規準に効果的に取り組むべきであること

教師と生徒は内部評価課題について話し合わなければなりません。生徒がアドバイスや情報を得るために率先して教師と話し合うよう促してください。また、生徒が指導を求めたことで減点してはなりません。学習プロセスの一環として、教師は一度、草稿を読み、生徒にアドバイスします。教師はどのようにすれば生徒の取り組みの質を高めることができるかについて、口頭または文章でアドバイスしますが、一方で、草稿を編集したり、推敲したりすることは認められません。なお、この草稿の次に教師に提出されるものが最終的な学習成果物となります。

教師には、学問的誠実性に関連する概念、特に知的財産と生徒本人が課題に取り組むことについての基本的な意味と重要性をすべての生徒に確実に理解させる責任があります。教師は必ず、すべての評価課題が要件に沿って取り組まれていることを確認しなければ

なりません。また、内部評価課題が完全に生徒自身によるものでなければならないことを生徒に対して明確に説明しなければなりません。生徒同士の協働作業が許されている場合は、生徒に「協働」(collaboration) と、誤った目的や手段のために協調する「共謀」(collusion) の違いをきちんと理解させてください。

モデレーション(評価の適正化)、または評価のためにIBに提出されるすべての学習成果物は、本当に生徒本人が取り組んだものであることを教師が認証しなければなりません。また、規則違反の事実またはその疑いがあることはありません。各生徒は学習成果物が自分自身のものであること、またそれが最終版であることを正式に認めなければなりません。生徒が正式に最終版を提出した後は、その学習成果物を撤回することはできません。生徒本人が取り組んだものであるかどうかの認証は、モデレーションのためにIBに提出される学習成果物のサンプルに限らず、すべての生徒の学習成果物に求められます。より詳しくは、IB資料『学問的誠実性』(2014年刊)、『DP:原則から実践へ』(2014年刊)、および(英語版)『General regulations: Diploma Programme (総則:ディプロマ資格プログラム)』(2012年刊)の関連項目を参照してください。

生徒本人が取り組んだものであるかどうかは、生徒と課題の内容について議論すること、次のいずれか(または2項目以上)を精査することを通じて確認します。

- ・ 生徒の最初の案
- ・ 記述課題の1回目の草稿
- ・ 引用・参考文献
- ・ 生徒自身が書いたものであることが確認されている他の課題との文体の比較
- ・ インターネット剽窃検知サービス(www.turnitin.comなど)による課題の分析

同一の課題を、内部評価と「課題論文」(EE)の双方の要件を満たすものとして重複して提出することはできません。

## グループ作業

各研究は、収集されたさまざまなデータや測定値に基づいた個人の作業です。理想的には、データ収集時にも、生徒は各自で作業することが望まれます。場合によっては、収集されたデータや測定値がグループ実験から得られたものである場合があります。その場合、生徒は自分が使用するデータや測定値を自分自身で収集、測定していることが条件となります。「物理」では、場合によって、各生徒がそれぞれの分析を十分に行えるように、グループ実験から得られたデータや測定値を組み合わせることもあります。この場合でも、各生徒は各自のデータを収集および記録し、どのデータが自分のものであるのかを明確に示せるようにしなければなりません。

また、研究とそれに関連するすべての作業は、生徒自身が取り組んだものであるべきだということを生徒に理解させるようにしてください。そのために、教師は、生徒が自分自身の学習に対して責任感をもつよう働きかけ、学びを主体的に自分自身のものとして受け入れて、自分自身の研究と作業に誇りをもつよう生徒を促すようにしてください。

## 時間配分

内部評価は「物理」におけるきわめて重要な要素です。SLとHLのいずれにおいても、最終評価の20%を占めます。この配点比率を踏まえて、課題に取り組むのに必要な知識、スキル、理解の指導にあてる時間、および課題を進めるために必要な時間を配分する必要があります。

SL・HLともに内部評価課題には、合計約10時間を割りあてることが推奨されています。この中には、以下の時間を含めるようにしてください。

- ・ 教師が生徒に内部評価の要件を説明する時間
- ・ 授業中に生徒が内部評価課題に取り組んだり、質問したりする時間
- ・ 教師と各生徒が話し合う時間
- ・ 課題に目を通し、進行状況を確認する時間、および生徒本人が取り組んだ課題であるかどうかをチェックする時間

## 安全要件と推奨事項

教師は、国または地域の安全ガイドラインに従う責任を負っています。安全ガイドラインの内容は国ごとに異なる場合があります。一方、以下に記載する安全ガイドラインにも留意してください。このガイドラインは、ラボラトリー・セーフティー・インスティテュート（LSI）が国際科学教育協議会（ICASE）の安全委員会のために開発したものです。

安全と衛生の確保については、すべての関係者に基本的な責任があり、継続的に取り組まなくてはなりません。いずれのアドバイスも、地域的な文脈、さまざまな教育的文化的伝統、予算上の制約、各国の法体系を尊重するものです。

### LSIの「実験室安全ガイドライン」とは…

#### より安全な実験室にするための40の提案

##### 最小限の出費で実現するための手順

1. 「環境安全衛生に関する方針」を策定し、文書化する。
2. 管理者、教師、スタッフ、生徒で構成される環境安全衛生委員会を組織し、環境安全衛生環境の諸課題について定期的に議論する会合をもつ。
3. 新任教職員と新入生の全員に環境安全衛生に関するオリエンテーションを行う。
4. 教職員と生徒が自分自身と他の人々の安全と衛生に注意するよう促す。
5. 安全対策に全教職員と全生徒が何らかの関わりをもつようにし、それぞれに具体的な責任をもたせる。
6. 安全遂行に対する教職員および生徒の意識を高める。
7. 全教職員に適切な安全マニュアルを読むことを求める。全生徒に学校の実験室安全ルールを読むことを求める。教職員と生徒に、それぞれマニュアルまたは

- ルールを読んで内容を理解した上で、その手順に従い実践する旨の誓約書に署名させる。これらの誓約書は部門のオフィスにファイルして保存する。
8. 有害な状態や安全でない作業を特定して是正するために、断続的に実験室の抜き打ち点検を行う。生徒と教職員を安全衛生の模擬点検に参加させる。
  9. 安全であるための方法を身につけることを、科学教育、自分の仕事および生活の不可欠かつ重要な部分として認識する。
  10. 安全会議を定期的に行い、点検結果を踏まえ、実験室での安全について全生徒および教職員が議論に参加できるようにする。
  11. 危険を伴う実験、または潜在的な危険を伴う実験を行うときは、以下の点を確認する。
    - 何が危険か。
    - 間違った方向に進んだ場合に起こり得る最悪の事態は何か。
    - それらにどのように対処するか。
    - 危険にさらされるリスクを最小限にするために必要とされる作業、保護施設および設備は何か。
  12. 事故や危険事例は、必ず報告の上、安全委員会による評価、安全会議での議論を行うよう求める。
  13. 研究実験計画に関する事前の議論で安全衛生面の配慮事項を取り上げるよう求める。
  14. 絶対的な安全が確保されていない限り、実験を放置して、実験を行っている場所から離れないようにする。
  15. 実験室での単独での作業、およびスタッフメンバーに事前に知らせない状態での作業を禁止する。
  16. 実験室内に限らず、自動車の管理や家庭生活などにも安全管理対策を適用する。
  17. 実験室での可燃性液体の保管は、必要最小限のみとする。
  18. 実験室での喫煙、飲食を禁止する。
  19. 化学物質を保管する冷蔵庫に食べ物を保存させないようにする。
  20. 火災、爆発、毒物汚染、化学物質の流出または揮発性物質の放出、感電、出血、感染などの緊急事態に対処するための計画を立て、訓練を行う。
  21. 全作業領域で、整理整頓を行うよう求める。
  22. 消防署、警察署、救急の緊急連絡先電話番号を、すべての電話機、または電話機のすぐ横に表示する。
  23. 酸および塩基を別々に保管する。燃料と酸化剤を別々に保管する。
  24. 不必要な量の化学物質の購入を避けるために化学物質の保管記録を作成する。
  25. 危険を示すための警告を掲示する。
  26. ドラフト内だけで行うべき実験や特に危険な物質を使う実験など、個々の実験のための具体的な作業方法を開発する。可能であれば、最も危険な実験はドラフト内で行うようにする。



## 中程度の出費を伴う手順

27. 安全対策のために必要予算を割りあてる。
28. 実験室および化学物質を取り扱う場所では、常に適切な保護具を着用して目を保護するよう求める。
29. 保護メガネ、保護ゴーグル、フェイスシールド、保護手袋、白衣、ベンチトップシールドなどの個人用保護装備を適切に備える。
30. 各実験室に消火器、緊急シャワー、洗眼器、救急箱、防火用毛布、排煙装置を備え、毎月検査点検する。
31. 真空ポンプにガードを設置し、圧縮ガスシリンダを固定する。
32. 適切な救急装置を備えつけ、その使用方法を提供する。
33. 可燃性化学物質を保管するための防火保管庫を備える。
34. 安全に関する以下のような図書を中心として集めたライブラリーを設置する。
  - “Safety in School Science Labs (理科実験室の安全)”, Clair Wood, 1994, Kaufman & Associates, 101 Oak Street, Wellesley, MA 02482
  - “The Laboratory Safety Pocket Guide (実験室安全ポケットガイド)”, 1996, Genium Publisher, One Genium Plaza, Schenectady, NY
  - “Safety in Academic Chemistry Laboratories (大学化学実験室の安全)”, ACS, 1155 Sixteenth Street NW, Washington, DC 20036
  - “Manual of Safety and Health Hazards in The School Science Laboratory (理科実験室の安全衛生ハザードマニュアル)”, “Safety in the School Science Laboratory (理科実験室の安全)”, “School Science Laboratories: A guide to Some Hazardous Substances (理科実験室：危険物ガイド)” Council of State Science Supervisors (現在 L S I のみから入手可能)
  - “Handbook of Laboratory Safety (実験室安全ハンドブック)”, 4th Edition, CRC Press, 2000 Corporate Boulevard NW, Boca Raton, FL 33431
  - “Fire Protection Guide on Hazardous Materials (危険物の火災予防ガイド)”, National Fire Protection Association, Batterymarch Park, Quincy, MA 02269
  - “Prudent Practices in the Laboratory: Handling and Disposal of Hazardous Chemicals (実験室の用意周到な実践：危険化学物質の取り扱いと廃棄)”, 2nd Edition, 1995
  - “Biosafety in the Laboratory (実験室のバイオセーフティー)”, National Academy Press, 2101 Constitution Avenue, NW, Washington, DC 20418
  - “Learning By Accident (事故から学ぶ)”, Volumes 1-3, 1997-2000, The Laboratory Safety Institute, Natick, MA 01760

(上記の図書は、すべて L S I から入手可能)
35. 化学物質を保管する冷蔵庫は、庫内から電気接続を取り除き、磁気で閉鎖するものにする。
36. すべての電気設備にアースを備え、必要に応じて漏電遮断機を設置する。

37. すべての化学物質に、物質名、危険の性質と程度、適切な取り扱い、保管責任者名を示すラベルをつける。
38. 化学物質の保管期限を管理し、保管期限切れの化学物質に関して再保管または廃棄するための仕組みをつくる。
39. 化学物質の廃棄について、合法で安全、かつ環境に配慮したシステムをつくる。
40. 化学物質の保管には、十分なスペースに、換気の良い、安全な保管庫を備える。



## 内部評価への評価規準の適用

内部評価には、多くの評価規準が設けられています。各評価規準には、学習成果物が特定のレベルに到達している場合にその成果物に見られる特徴を記述した「レベルの説明」と、それに対応する点数が明示されています。「レベルの説明」では、基本的に学習の成果として捉えられる肯定的な側面を判断基準として取り上げています。ただし、下位の到達レベルでは、達成できなかった点を判断基準としている場合もあります。

教師がSLおよびHLの内部評価課題を採点する際は、評価規準の「レベルの説明」に照らし合わせて判断しなければなりません。

- ・ 評価規準は、SL・HL共通です。
- ・ ベストフィット（適合）モデルの考え方にに基づき、「レベルの説明」から、生徒の到達レベルを最も適切に示す説明を見つけます。学習成果物に見られる到達度が規準に示されている要素によって異なる場合、補正するというのがベストフィット（適合）アプローチの考え方です。与えられる点数は、規準に照らし合わせた場合に、到達レベルのバランスを最も公正に反映するものでなければなりません。「レベルの説明」に挙げられている要素をすべて満たさなければ、その点数が得られないということではありません。
- ・ 生徒の学習成果物を評価する際、教師は、評価規準で学習成果物のレベルを最も的確に示している説明と一致するまで、各レベルの説明を読まなければなりません。学習成果物が2つの説明のちょうど中間にあたると見られる場合、両方の説明を読み直し、生徒の学習成果物をより適切に示す方を選ばなければなりません。
- ・ 1つのレベルに複数の点数が割りあてられている場合、生徒の学習成果物について、説明内容を達成している度合いが大きければ（学習成果物がその上のレベルに到達しそうな場合）、高い方の点数をつけます。説明内容を達成している度合いが小さければ（その下のレベルに近い場合）、低い方の点数をつけます。
- ・ 整数のみを用います。分数や小数を用いた点は認められません。
- ・ 教師は合格・不合格の線引きをするような考え方をせずに、各評価規準において、学習成果物を最も適切に表すレベルを判別することに専念しなければなりません。
- ・ 「レベルの説明」にある最上位レベルは、欠点のない完璧な学習成果を意味するものではありません。基準は、生徒が最上位レベルに達することができるように設定されています。その学習成果物が最上位レベルの説明内容にあてはまるのであれば、教師は最高点をつけことを躊躇してはなりません（最低点についても同様です）。
- ・ 1つの規準において到達レベルの高かった生徒が、他の規準においても到達レベルが高いとは限りません。同様に、1つの規準において到達レベルの低かった生徒が、他の規準においても到達レベルが低いとは限りません。教師は、生徒の全体的な評価からある特定の点数をその生徒の得点として想定するべきではありません。
- ・ 評価規準を生徒に示すことが推奨されています。

## 実習および内部評価

### 概要

内部評価の要件は、「生物」「化学」「物理」に共通です。内部評価は、最終評価の20%に相当し、科学的研究である「個人研究」が評価の対象となります。「個人研究」では、標準レベル（SL）、上級レベル（HL）のそれぞれのレベルに見合ったトピックを扱うようにしてください。

「個人研究」は、学校内の教師によって内部で評価され、IBによって外部的にその評価が適正化されます。SL・HLともに24点満点で、共通の評価規準に照らし合わせて採点されます。

**注：**評価の対象として行われる研究はいずれも評価規準に照らし合わせて計画されなければなりません。

内部評価課題では、1つの科学的研究に約10時間かけて取り組みます。研究は、約6～12ページのレポートにまとめます。この長さを超える研究は、簡潔さに欠けるものとして、評価規準の「コミュニケーション」の項目において減点されます。

内部評価課題の評価規準は一般的なものであるため、観察実験を伴う研究では「生物」「化学」「物理」の多様なニーズを満たす幅広い実習活動を取り入れることが可能です。生徒は研究に取り組むことで、「IBの学習者像」の要素の多くに取り組むこととなります。「IBの学習者像」との具体的な関連性については、『物理』の指導の方法の章を参照してください。

取り組む課題は、複雑かつ履修している授業のレベルに見合ったものでなければなりません。また、はっきりとした目的のある研究課題とそれに対する科学的な裏づけを伴うものでなければなりません。教師用参考資料の採点例を通じて、評価が厳正であること、そして、改訂前の「物理」で行われてきた課題の評価と同じ水準であることがわかるでしょう。

以下は、具体的な課題の取り組みの例です。

- ・ 実際の実験室で観察実験を行う。
- ・ 分析とモデル化で集計表を活用する。
- ・ データベースからデータを抽出し、グラフによって分析する。
- ・ 集計表またはデータベースの作業と従来の観察実験型の研究を融合する。
- ・ インタラクティブでオープンエンド型のシミュレーションを活用する。

取り組む課題によっては、関連性のある適切な定性的手法と定量的手法を組み合わせる場合も考えられます。

課題の取り組みには、これまでの「物理」の授業で行われてきたのと同様に、従来の実習を伴う観察実験型の研究も含まれます。実習を伴う観察実験型の研究に必要とされる内容の取り扱いの深さは、これまでの内部評価と変わりません。教師用参考資料に詳細が説

明されています。また、実習の具体的な側面については、「指導の手引き」の「シラバスの内容」の関連項目で詳細に述べられているように、筆記試験で評価されます。

内部評価課題の評価規準は、S L・H L共通です。「主体的な取り組み」「探究」「分析」「評価」「コミュニケーション」の5つの評価規準があります。

## 内部評価の詳細

### 内部評価の構成

配当時間：10時間

配点比率：20%

- ・ 個人研究
- ・ 評価目標 1、2、3、4 に対応する。

### 内部評価の評価規準

新しい評価モデルでは、5つの評価規準を用いて、個人研究の最終レポートの評価を行います。それぞれの評価規準には以下の素点が割りあてられています。カッコ内は、合計に占める各評価規準の割合です。

主体的な取り組み	探究	分析	評価	コミュニケーション	合計
2 (8%)	6 (25%)	6 (25%)	6 (25%)	4 (17%)	24 (100%)

評価では、最終レポートを、レベルごとに記述された複数の指標に照らし合わせて判断します。多くのレポートは、複数の指標がある場合、特定の同一レベルに記述された複数の指標と一致しますが、そうでない場合もあります。また、すべての指標が常に見られるわけではありません。レポートに見られる特徴と一致する指標が、それぞれ異なるレベルにあることもあります。このような場合に対応するため、I Bでは、採点にマークバンド（採点基準表）を用います。試験官と教師は、各評価規準に対してどの点数が適切かを決定する際に**ベストフィット(適合)アプローチ**を使います。

教師は、採点を始める前に、マークバンド（採点基準表）の利用方法に関する指示を読んでもください。指示は、「指導の手引き」の「内部評価への評価規準の適用」に記載されています。教師用参考資料で取り上げられている採点例に完全に精通していることも欠かせません。評価規準で用いられる指示用語の正確な意味は、「指導の手引き」の「指示用語の解説」で説明されています。

## 主体的な取り組み

この評価規準では、生徒がどの程度、主体的に探究に取り組んだかについて評価します。主体的な取り組みは、さまざまな資質とスキルにおいて認めることができます。具体的には、個人的に関心をもっていることに取り組んだり、研究の計画、実施、またはプレゼンテーションにおいて、独自の思考を示すほか、創造性や主体性を発揮したりすることが挙げられます。

評点	レベルの説明
0	このレポートは、以下の基準に達していない。
1	<b>探究への主体的な取り組みを示す証拠が限定されており、レポートには、独自の思考、主体性、または創造性がほとんどない。</b> 研究で取り組んだ研究課題またはトピック（あるいはその両方）を選んだ理由に、 <b>個人的な重要性、関心、または好奇心</b> が示されていない。 研究の計画、実施、またはプレゼンテーションにおいて、 <b>自ら情報や考えを提示したり、主体的に取り組んだり</b> したことがほとんどうかがえない。
2	<b>探究への主体的な取り組みを示す証拠が明らかであり、レポートには、かなりの独自の思考、主体性、または創造性が含まれている。</b> 研究で取り組んだ研究課題またはトピック（あるいはその両方）を選んだ理由に、 <b>個人的な重要性、関心、または好奇心</b> が示されている。 研究の計画、実施、またはプレゼンテーションにおいて、 <b>自ら情報や考えを提示したり、主体的に取り組んだり</b> したことがうかがえる。

## 探究

この評価規準では、「研究の背景となる科学的文脈を設定できたか」「明確で焦点を絞った研究課題を提示できたか」「DPのレベルに適切な概念と手法を用いているか」のそれぞれについて、どの程度できたかを評価します。また、該当する場合には、この評価規準で、安全性、環境、および倫理的配慮に対する意識についても評価します。

評点	レベルの説明
0	このレポートは、以下の基準に達していない。
1～2	研究トピックが特定され、ある程度、関連性のある研究課題が <b>提示されているが、焦点が絞られていない。</b> 研究の背景となる情報が <b>表面的</b> 、または関連性が限定的なため、研究の文脈についての理解を助けるものになっていない。 研究方法について、収集されたデータの関連性、信頼性、および十分に影響し得る重要な要素がほとんど考慮されていない。したがって研究方法は、研究課題を扱うのに非常に限られた程度にしか適切でない。 <b>研究方法に関連する重要な安全性、倫理、または環境の問題への意識が限定的であることがうかがえる。*</b>

評点	レベルの説明
3～4	<p>研究トピックが特定され、関連性のある研究課題が提示されているが、研究課題の焦点は十分には絞られていない。</p> <p>研究の背景となる情報は概ね適切で関連性があり、研究の文脈についての理解を助けるものとなっている。</p> <p>研究方法について、収集されたデータの関連性、信頼性、および十分に影響し得る重要な要素の一部だけを考慮している。したがって研究方法は、研究課題を扱うのに概ね適切であるが限定的である。</p> <p><b>研究方法に関連する重要な安全性、倫理、または環境の問題をある程度意識していることがうかがえる。*</b></p>
5～6	<p>研究トピックが特定され、関連性のある研究課題が明確に提示されている。研究課題は、十分に焦点が絞られている。</p> <p>研究の背景となる情報は、十分に適切で関連性があり、研究の文脈についての理解を高めるものとなっている。</p> <p>研究方法について、収集されたデータの関連性、信頼性、および十分に影響し得る重要な要素のすべて、またはほとんどすべてを考慮している。したがって研究方法は、研究課題を扱うのに非常に適切である。</p> <p><b>研究方法に関連する重要な安全性、倫理、または環境の問題を完全に意識していることがうかがえる。*</b></p>

\*この指標は、該当する場合にのみ適用します。英語版教師用参考資料の採点例を参照のこと。

## 分析

この評価規準では、生徒が<sup>リサーチクエスト</sup>研究課題と関連づけ、結論を裏づけるために、データを選択、記録、処理、および解釈したことを示す<sup>エビデンス</sup>証拠が、レポートの中にどの程度、見られるかを評価します。

評点	レベルの説明
0	このレポートは、以下の基準に達していない。
1～2	<p>研究課題に対する妥当な結論の裏づけとなる、<b>関連性のある生データが十分に含まれていない。</b></p> <p>ある程度の<b>基本的な</b>データ処理が行われているが、<b>妥当な結論を導くには不正確または不十分</b>である。</p> <p>分析に関する測定値の不確かさの影響をほとんど考慮してないことがうかがえる。</p> <p>処理されたデータの解釈が不正確または不十分である結果、結論が正しくないかまたは非常に不完全である。</p>

評点	レベルの説明
3～4	<p>研究課題に対して簡単な結論、または部分的に妥当な結論の裏づけとなり得る、関連性はあるが不完全な定量的および定性的生データが含まれている。</p> <p>概して妥当な結論につながり得る適切かつ十分なデータ処理が行われているが、処理においてはかなり不正確で矛盾している。</p> <p>分析に関する測定値の不確かさの影響をある程度考慮していることがうかがえる。</p> <p>処理されたデータの解釈は、研究課題に対して概して妥当であるものの不完全または限定的な結論を導き出し得るものである。</p>
5～6	<p>研究課題に対する詳細で妥当な結論の裏づけとなり得る、十分に関連する定量的および定性的な生データが含まれている。</p> <p>適切かつ十分なデータ処理が行われている。そのデータ処理には、研究課題の結論を実験データと完全に<b>一致する</b>形で引き出すことを可能にするのに必要とされる<b>正確さ</b>が備わっている。</p> <p>分析に関する測定値の不確かさの影響を十分かつ適切に考慮していることがうかがえる。</p> <p>処理されたデータの解釈は、間違いがなく、研究課題に対して完全に妥当で詳細な結論を導き出し得るものである。</p>

## 評価

この評価規準では、リサーチクエスト研究課題および一般に受け入れられている科学的文脈に対して、研究および結果についての評価したことを示す証拠がレポートの中<sup>エビデンス</sup>にどの程度、見られるかを評価します。

評点	レベルの説明
0	このレポートは、以下の基準に達していない。
1～2	<p>研究課題に関連しない結論、または提示されたデータによる裏づけのない結論が<b>簡単に述べられている</b>。</p> <p>結論を一般に受け入れられている科学的文脈と表面的に比較している。</p> <p>データの限界やエラーの原因など研究の長所と短所が<b>簡単に述べられている</b>が、実際の<b>作業</b>、または<b>手順</b>に関して直面した問題の<b>説明</b>に限定されている。</p> <p>研究を改善し、広げるための現実的で関連する提案がきわめてわずかに挙げられ、<b>簡単に述べてられている</b>。</p>
3～4	<p>研究課題に関連し、提示されたデータによって裏づけられた結論が<b>詳しく述べられている</b>。</p> <p>一般に受け入れられている科学的文脈とある程度関連性のある比較を踏まえて、結論が詳しく述べられている。</p> <p>データの限界やエラーの原因など研究の長所と短所が<b>詳しく述べられており</b>、結論の構築に関連する<b>方法論の問題</b>※をある程度意識していることがうかがえる。</p> <p>研究を改善し、広げるための現実的で関連性のあるいくつかの提案が詳しく述べられている。</p>



評点	レベルの説明
5～6	<p>研究課題と全面的に関連し、提示されたデータによって十分に裏づけられた詳細な結論が<b>詳しく述べられ、正当化されている</b>。</p> <p>一般に受け入れられている科学的文脈と関連性のある比較を踏まえて、結論が正確に<b>詳しく述べられ、正当化されている</b>。</p> <p>データの限界やエラーの原因など研究の長所と短所が<b>議論されており</b>、結論の構築に関連する<b>方法論の問題*</b>を明確に理解していることがうかがえる。</p> <p>研究を改善し、広げるための現実的で関連性のある提案について<b>議論されている</b>。</p>

\*英語版教師用参考資料の採点例を参照のこと。

## コミュニケーション

この評価規準では、研究の焦点、プロセス、成果を効果的に提示および報告できたかどうかを評価します。

評点	レベルの説明
0	このレポートは、以下の基準に達していない。
1～2	<p><b>研究のプレゼンテーションは、不明瞭で、研究の焦点、プロセス、および成果を理解することが難しい。</b></p> <p>レポートは、うまく構成されておらず不明瞭である。研究の焦点、プロセス、および成果に関する必要な情報が欠けているか、あるいは一貫性のない状態、または整理されていない状態で提示されている。</p> <p>研究の焦点、プロセス、および成果の理解が不適切、または無関係な情報が入っているために曖昧である。</p> <p>専門用語および表現技法*に多くの間違いがある。</p>
3～4	<p><b>研究のプレゼンテーションは、明瞭である。間違いがあっても、研究の焦点、プロセス、および成果を理解することを妨げるようなものではない。</b></p> <p>レポートは、うまく構成されており明瞭である。研究の焦点、プロセス、および成果に関する必要な情報が入っており、理路整然と提示されている。</p> <p>レポートは、関連性がある簡潔であり、それによって研究の焦点、プロセス、および成果を速やかに理解できる。</p> <p>専門用語および表現技法が適切かつ正確である。間違いがあっても、理解を妨げるようなものではない。</p>

\*例えば、グラフ、表、図のラベルの間違いや欠如、単位、小数の使用。参照および引用の問題については「学問的誠実性」を参照のこと。

## なぜ「実習」を行うのか

内部評価課題の要件は研究活動に焦点を置いたものですが、さまざまなタイプの「実習」に生徒が取り組むことで、以下に挙げるような研究以外の目的を果たすことができます。

- ・ 理論的概念を説明、教育、および強化する。
- ・ 本質的に実際にやってみることが大事だという科学的研究の性質についての理解を促す。
- ・ 科学者がデータベースからの二次データを利用することについての理解を促す。
- ・ 科学者によるモデルの活用についての理解を促す。
- ・ 科学的方法論の利点と限界についての理解を促す。

## 実習を伴う学習活動

「実習を伴う学習活動」(P S O W : practical scheme of work) では、実習のカリキュラムを教師が計画します。また、「実習を伴う学習活動」は、生徒が取り組む研究すべてのまとめとしても位置づけられます。同じ科目の S L または H L を履修する生徒は、いくつかの研究活動で同じ研究に取り組むことができます。

## 対応するシラバスの範囲

実習内容は、S L および H L のシラバスの取り扱う範囲の学習の幅と深さに対応していることが望まれますが、シラバスのあらゆるトピックについて実習を行う必要はありません。ただし、「グループ4プロジェクト」および内部評価課題の「個人研究」には、全生徒が取り組まなければなりません。

## 「実習を伴う学習活動」の計画

教師は実習を伴う学習活動の計画を、下記に示される一定の要件に則って、自由に組み立てることができます。教師は、以下に基づいて実習を選択します。

- ・ 指導する科目、レベル (S L ・ H L)、および選択項目
- ・ 生徒のニーズ
- ・ 利用可能なリソース
- ・ 指導のスタイル

各活動は、広範な概念的理解が必要となる、いくつかの複雑な実験を含まなくてはなりません。全体的に、項目をチェックしたり、表に値を記入したりするだけの簡単な実験から成る活動は、生徒にとって適切な経験となりません。

教師は、オンラインカリキュラムセンター (O C C) のディスカッションフォーラムに参加したり、科目のホームページにリソースを追加したりすることを通じて、実習のアイデアを共有することが奨励されています。

## 柔軟性

「実習を伴う学習活動」は、幅広い実習の取り組みに対応できる柔軟性があります。例えば、以下のような活動が可能です。

- ・ 短い実験、または数週間にわたるプロジェクト
- ・ コンピューターシミュレーション
- ・ 二次データのためのデータベースの利用
- ・ モデルの開発と利用
- ・ アンケート、ユーザー試験、および研究などのデータ収集課題
- ・ データ分析課題
- ・ フィールドワーク

## 実習の記録

「実習を伴う学習活動」に関する記録を『D P 手順ハンドブック』に記載されている実習活動報告書「4/PSOW」に記入します。モデレーション（評価の適正化）のために提出するサンプルには、クラスの「4/PSOW」のコピーを添付します。

## 実習のための時間配分

すべてのD P 科目で推奨される総授業時間数は、S Lで150時間、H Lで240時間です。S Lの生徒は40時間、H Lの生徒は60時間を「実習を伴う学習活動」（提出物を書き上げる時間を除く）に費やすことが求められています。これらの時間には、「グループ4プロジェクト」のための10時間と、内部評価課題である「個人研究」のための10時間が含まれます。（サンプルをモデレーターに提出する提出期限の後、2～3時間に限り、研究活動を行うことができます。その時間は、「実習を伴う学習活動」の時間数として加算することができます）。

## グループ4プロジェクト

「グループ4プロジェクト」は、DPの「理科」(グループ4)の科目を履修するすべての生徒が参加しなければならない学際的活動です。「理科」(グループ4)の異なる科目の生徒が共通のトピックまたは問題の分析に取り組むことを目的としています。このプロジェクトは、協働を経験する機会であることを重視し、活動の成果よりもむしろ活動のプロセスに力を置いています。

多くの場合、学校内で1つの研究トピックに取り組みます。生徒が多数の場合には、いくつかの小さな班に分けることができます。各班に異なる科目を履修する生徒が交ざるようにします。班ごとに同じトピックを研究をしても、異なるトピックの研究をしても構いません。異なるトピックを研究する場合には、同じ学校にいくつかの「グループ4プロジェクト」が存在することになります。

「環境システムと社会」を履修する生徒は、「グループ4プロジェクト」に取り組む必要はありません。

### 「グループ4プロジェクト」について

「グループ4プロジェクト」は、「理科」(グループ4)の異なる科目を履修する生徒が科学的または技術的トピックに協働して取り組み、ねらい10に則して学問分野を横断する概念と知見を共有すること、つまり、「科学の学問分野間の関係性と他の知識分野への影響についての理解を深める」ことを可能にする協働活動です。プロジェクトは、実際の観察実験活動に基づくものでも、理論に基づくものでも構いません。また、異なる地域に所在する学校間の協働が奨励されています。

生徒は「グループ4プロジェクト」を通じて、科学技術の環境的、社会的、倫理的意味を理解します。また、科学研究の限界、例えば、適切なデータの不足やリソースの欠如を理解することもできます。研究の成果よりも、学際的な協力と科学研究に含まれるプロセスに力が置かれています。

科学技術に関するどのようなトピックに取り組むかの選択は自由ですが、プロジェクトは、「指導の手引き」に記載されている「理科」(グループ4)のねらい7、8、および10に明確に取り組むものでなければなりません。

生徒がプロジェクトのすべての段階で、自分とは別の科目の生徒と協働することが理想的です。このため、選択されるトピックが科目別の要素に明確に分けられている必要はありません。しかし、実施計画上の理由から、学校によっては、科目別に「行動」の段階に取り組むことを選択する場合があります(次の「プロジェクトの段階」を参照のこと)。

## プロジェクトの段階

「グループ4プロジェクト」に割りあてられた10時間は、「実習を伴う学習活動」を行うために確保された授業時間の一部であり、「計画」「行動」「評価」の3つの段階に分けることができます。

### 計画

この段階は、プロジェクト全体にとってきわめて重要です。約2時間を割りあてます。

- ・「計画」の段階は、1回のセッション、または2～3回の短いセッションで構成することができます。
- ・この段階では、「理科」（グループ4）の生徒全員が集まって、中心的なトピックについてブレインストーミングおよび議論を行い、アイデアと情報を共有することに取り組みます。
- ・トピックは、生徒自らが選択しても、教師が選択しても構いません。
- ・多数の生徒が関与する場合には、異なる科目を履修している生徒が混ざり合った班を2つ以上つくることが推奨されます。

**取り組むトピックまたは問題を選択したら、「計画」の段階から「行動」「評価」の段階に移る前にどのような活動を行うのかを明確に定義しなければなりません。**

具体的な進め方の例としては、特定の課題を自分たちで定義し、生徒がそれぞれ個別に、または班のメンバー同士で、トピックのさまざまな側面を研究するという方法が挙げられます。プロジェクトが実験に基づいたものになる場合、「行動」の段階で遅れが生じないように、この段階でどのような器具を使うかを特定します。他の学校と共同事業に取り組む場合は、この時点で連絡を取り合うことが重要です。

### 行動

「行動」の段階には、約6時間を割りあてます。通常の授業期間の1週間ないし2週間にわたって6時間を割りあてる形が考えられるほか、フィールドワークを含むような場合には、丸1日を確保する形も考えられます。

- ・生徒は、異なる科目を履修している生徒が混ざり合った班、または同じ科目を履修する生徒同士の班でトピックを研究します。
- ・「行動」の段階では協働しなければなりません。研究の知見は、班の他のメンバーと共有します。この段階では、実際の観察実験に基づいた活動で安全性、倫理、環境への配慮に注意を払うことが重要です。

**注：**「理科」（グループ4）で2科目を履修している生徒は、2つの異なる「行動」の段階を行う必要はありません。

### 評価

「評価」の段階には、2時間程度が必要となります。この段階では、生徒が、成功も失敗も含めて他の生徒と知見を共有することに力点が置かれます。どのようにして知見を共有するかは、教師が決定しても、生徒自身が決定しても、あるいは両者が決定しても構いません。

- ・ 1つの例としては、朝、午後、または夕方の時間をあてて、すべての生徒が個別に、または班ごとに簡単なプレゼンテーションを行うシンポジウムを開催することが挙げられます。
- ・ 別の方法としては、形式張らない形のプレゼンテーションを行うことが挙げられます。各班の活動をまとめた展示を見てまわる科学フェアの形式をとることもできます。

保護者や教育委員会のメンバー、報道機関をこうしたシンポジウムや科学フェアに招待することもできます。地域にとって重要な問題を研究した場合には、特に意味があるでしょう。得られた知見によっては、学校の環境や地域コミュニティとの関わり方を変えることもあるかもしれません。

### 「ねらい7」と「ねらい8」への取り組み

**ねらい7**は、「科学を学ぶことを通じて21世紀のコミュニケーションスキルを身につけ、応用する」ことです。

ねらい7は、「計画」の段階でやりとりされる学校内、学校間の電子コミュニケーションという形で部分的に取り組みされているといえます。技術（データロギング、集計表、データベースなど）は、「行動」の段階で活用されるほか、「評価」の段階のプレゼンテーションでは確実に用いられます（例えば、デジタル画像、プレゼンテーションソフトウェア、ウェブサイト、デジタルビデオなどの利用）。

**ねらい8**は、「科学技術を用いることの倫理的意味について、グローバルな社会の一員として批判的な意識をもつ」ことです。

### 国際的側面への取り組み

プロジェクトでは、科学的試みの国際的な側面や、グローバルな諸課題に科学技術を用いて取り組むために協力関係がますます必要とされていること例証するようなトピックを選択することもできます。別の地域の学校と協働することで、プロジェクトに国際的側面をもたせることもできます。

## プロジェクトのタイプ

ねらい7、8、および10に取り組む一方で、プロジェクトは、科学またはその応用を扱ったものでなければなりません。プロジェクトは、実際の観察実験を伴うものでも、純粹に理論的な要素を取り上げたものでも構いません。以下に挙げるようなさまざまなタイプのプロジェクトを実施することが可能です。

- ・ 実験室での研究またはフィールドワークを計画実行する。
- ・ 別の学校と協働して比較研究（実験、またはその他）を実行する。
- ・ 科学学術誌、環境保護団体、科学技術関連企業や政府の報告書などの他のソースからデータを収集、操作、分析する。
- ・ モデルまたはシミュレーションを設計、または活用する。
- ・ 学校が組織する長期プロジェクトに貢献する。

## 実施方法

「グループ4プロジェクト」を組織することは、多くの学校にとって簡単なことではありません。以下のモデルは、プロジェクトを実施するための方法を説明しています。

モデルA、B、Cは、1校が単独でプロジェクトを行う場合の学校内での実施形態について、モデルDは、学校間の協働を含むプロジェクトに関するものです。

### モデルA：異なる科目を履修する生徒の班と1つのトピック

学校は、異なる科目を履修する生徒で班を編成し、全班共通のトピックを1つ選択して取り組みます。班の数は、生徒数によります。

### モデルB：異なる科目を履修する生徒の班と2つ以上のトピック

生徒数の多い学校は、2つ以上のトピックを選択することもできます。

### モデルC：同じ科目を履修する生徒同士の班

実施計画上の理由で、学校によっては、同じ科目を履修する生徒同士の班を編成することを選び、「行動」の段階で1つまたは複数のトピックに取り組みます。このモデルは、多くの科学者が関わる異なる科目間の協働を体験することにならないため、あまり望ましくありません。

### モデルD：他校との協働

どの学校も他校との協働に取り組むことができます。IBは、他校との協働を希望する学校のために、学校がプロジェクトのアイデアを投稿して他の学校との協働を募ることができる電子掲示板をOCC上に設けています。単に共通のトピックの「評価」を共有す

ることから、すべての段階で全面的に協働するものまで、さまざまな形態の協働が可能です。

DPの生徒（DPの科目履修生含む）が少ない学校については、DPを履修していない生徒、またはDPの「理科」（グループ4）の科目を履修していない生徒と協働することや、隔年でプロジェクトを実施することが可能です。一方、こうした学校は、他校と協働することが奨励されます。この方法は、例えば、病気や、プロジェクトをすでに実施してしまった学校へ転入したりしたために、プロジェクトに参加できなかった生徒がいる場合にも推奨されます。

## 実施時期

IBが「グループ4プロジェクト」に割りあてるよう推奨する10時間を、数週間にわたって分散させることも可能です。プロジェクトを実施するのに最適な時期を選択する際には、どのように時間を分散させるかを考慮する必要があります。ただし、すべての他の学習活動、または他の学習活動のほとんどを中断する場合には、プロジェクトの作業のためだけに一定の期間を費やすことができます。

### 1年次に実施

DPの1年次には、生徒の経験とスキルが限られている場合があるため、1年次の開始後すぐにプロジェクトを始めることは推奨できません。ただし、1年次の最終段階でプロジェクトを実施すると、その後の生徒の負担を軽減できるという利点があります。また、この方法では、予期しない問題が生じた場合に解決するための時間を与えます。

### 1年次から2年次にかけて実施

1年次の最後に、「計画」の段階を開始し、トピックを決定し、個々の科目で事前の議論を行うことができます。生徒は、どのようにプロジェクトに取り組むかについて休みの期間を使って考えることができるため、2年次の初めには作業を開始できます。

### 2年次に実施

2年次のある時点までプロジェクトの開始が遅れた場合、特に遅すぎる場合には、さまざまな面で生徒への負担が増します。例えば、他の方法を選択した場合に比べて作業スケジュールに余裕がありません。生徒の誰かの病気や予期せぬ問題などがさらなる困難を引き起こす可能性もあります。一方、2年次に実施する場合、生徒はこの時点までにお互いのことや教師のことをよく知るようになっているため、チームでの作業にも概ね慣れていきます。また、1年次で実施するよりも関連分野での経験が深まっているといえます。



## SLとHLの合同で実施

諸般の事情によりプロジェクトが隔年で実施される場合、HLの1年次の生徒とより経験を積んだSLの2年次の生徒が合同でプロジェクトに取り組むことも考えられます。

## トピックの選択

生徒はトピックを選択したり、提案したりすることができます。教師はリソース、プロジェクトに関わることのできるスタッフの体制などに基づいて、どのトピックが最も実行可能性が高いかを決定します。反対に、教師がトピックを選択したり、提案したりするいくつかのトピックの中から、生徒が特定のトピックを選択することも考えられます。

## 生徒がトピックを選択する場合

生徒は、自分自身が選択したトピックである場合、そのトピックをより深く自分のものとして捉え、より熱心に取り組むものです。生徒がトピックを選択する際（「計画」の段階の一部も含む）には、以下のような方法をとることが考えられます。この時点で、各科目の担当教師は、提案されたトピックの実現可能性についてアドバイスすることができます。

- ・ 生徒にアンケートを実施して、トピックの候補を特定する。
- ・ 可能性のあるトピック、または問題について、最初のブレインストーミングセッションを行う。
- ・ 興味深そうな2～3のトピックについて簡単に議論する。
- ・ 総意に基づいて1つのトピックを選択する。
- ・ 生徒は、候補となる実行の可能な研究のリストを作成する。次に、生徒全員で、重複や連携研究の可能性についてなどの問題を論じます。

「グループ4プロジェクト」への参加について、各生徒は簡単な「振り返り」の記録を内部評価研究用のカバーシートに記入しなければなりません。詳細は『DP手順ハンドブック』を参照してください。

## 指示用語の解説

### 「物理」のための指示用語

生徒は、試験問題で用いられる次の重要な用語や表現に習熟する必要があります。それぞれの意味は以下に示すとおりです。試験問題には、これらの用語が用いられますが、それ以外の用語を用いて、生徒に考えを述べるよう求める場合もあります。

指示用語は、対象の取り扱いについての深さを示します。

#### 評価目標 1

指示用語	意味
定義しなさい Define	語句、概念、または物理量の正確な意味を述べなさい。
描きなさい、 図示しなさい Draw	鉛筆を用いて、名称がつけられた正確な図またはグラフとして表しなさい。直線には直定規を用いること。図表は一定の縮尺で描きなさい。グラフは（該当する場合）正確に点を書き入れ、直線または滑らかな曲線でつなぎなさい。
名称をつけなさい Label	図表に名称をつけなさい。
列挙しなさい List	説明をつけ加えずに、簡潔な答えを並べなさい。
測定しなさい Measure	数量値を求めなさい。
述べなさい State	説明または計算することなしに、特定の名称、数値、またはその他の簡潔な答えを示しなさい。
書き出しなさい Write down	主に情報を抜き出すことによって答えを得なさい。計算はほとんど必要なく、過程を記す必要もない。

## 評価目標 2

指示用語	意味
注釈しなさい Annotate	図表やグラフに簡単な説明をつけなさい。
応用しなさい Apply	与えられた問題または課題との関連において、考え、公式、原理、理論、または法則を用いなさい。
計算しなさい Calculate	作業の過程を適切に示しながら、答えとなる数値を求めなさい。
詳しく述べなさい Describe	詳細に述べなさい。
区別しなさい Distinguish	2つまたはそれ以上の概念または事柄の相違点を明確にしなさい。
概算しなさい、 見積もりなさい Estimate	およその値を求めなさい。
定式化しなさい Formulate	関係ある概念、または議論を正確に、また系統立てて表現しなさい。
特定しなさい Identify	数ある可能性の中から答えを確定させなさい。
簡単に述べなさい Outline	簡潔な説明または要点を述べなさい。
プロットしなさい Plot	図表上に点の位置を書き入れなさい。

## 評価目標 3

指示用語	意味
分析しなさい Analyse	本質的な要素または構造を明らかにするために分解しなさい。
コメントしなさい Comment	与えられた記述または計算結果に基づき、見解を述べなさい。

指示用語	意味
<b>比較しなさい</b> Compare	2つ（またはそれ以上）の事柄または状況の類似点について、常に双方（またはすべて）について言及しながら、説明しなさい。
<b>比較・対比しなさい</b> Compare and contrast	2つ（またはそれ以上）の事柄または状況の類似点および相違点について、常に双方（またはすべて）について言及しながら、説明しなさい。
<b>作成しなさい</b> Construct	図表形式または論理形式で情報を示しなさい。
<b>推論しなさい</b> Deduce	与えられた情報から結論を導き出しなさい。
<b>論証しなさい</b> Demonstrate	具体例や実際の応用例を挙げながら、推論または根拠に基づいて明らかにしなさい。
<b>導き出しなさい</b> Derive	数式を操作し、新しい方程式または関係式を導き出しなさい。
<b>設計しなさい</b> Design	設計図、シミュレーション、またはモデルをつくりなさい。
<b>決定しなさい</b> Determine	考えられる唯一の答えを求めなさい。
<b>論じなさい</b> Discuss	さまざまな議論、要因、仮説を考慮し、バランスよく批評しなさい。意見または結論は、適切な根拠を挙げて、はっきりと述べなさい。
<b>評価しなさい</b> Evaluate	長所と短所を比較し、価値を定めなさい。
<b>考察しなさい</b> Examine	論点の前提や相互関係が明らかになるように、議論または概念について考えなさい。
<b>説明しなさい</b> Explain	理由や要因などを詳しく述べなさい。
<b>探究しなさい</b> Explore	系統立てて論拠を示しなさい。
<b>前問の結果を用いて</b> Hence	前問の結果を利用して、要求されている結果を得なさい。
<b>必要ならば 前問の結果を用いて</b> Hence or otherwise	前問の結果を利用してもよいが、それ以外の方法を用いてもよい。

指示用語	意味
<b>正当化しなさい</b> Justify	答えや結論を裏づける妥当な理由や根拠を述べなさい。
<b>予測しなさい</b> Predict	予想されている結果を示しなさい。
<b>示しなさい</b> Show	計算や微分の過程を示しなさい。
<b>～であることを示しなさい</b> Show that	証明の手順を踏まず（場合によっては与えられた情報を用いて）要求された結果を出しなさい。「～であることを示しなさい」という問題は通常、電卓は必要ありません。
<b>略図を描きなさい</b> Sketch	（必要に応じて名称をつけ）図表またはグラフで表しなさい。略図は、求められる形または関係の概観を示し、特徴を表したものでなければなりません。
<b>解きなさい</b> Solve	代数、計算、グラフのいずれか、またはいずれかの組み合わせを用いて答えを求めなさい。
<b>提案しなさい</b> Suggest	解決策、仮説、またはその他の考えられる答えを示しなさい。

## 参考文献

以下の資料は、『「物理」指導の手引き』（2016年第1回試験）の刊行に伴う改訂に用いた主な参考文献です。入手可能な文献をすべて網羅したものではありません。教師にとって特に役立つと思われるものを取り上げています。なお、以下は、教科書として推薦する図書のリストではありません。

Rhoton, J. 2010. *Science Education Leadership: Best Practices for the New Century*. Arlington, Virginia, USA. National Science Teachers Association Press.

Masood, E. 2009. *Science & Islam: A History*. London, UK. Icon Books.

Roberts, B. 2009. *Educating for Global Citizenship: A Practical Guide for Schools*. Cardiff, UK. International Baccalaureate Organization.

Martin, J. 2006. *The Meaning of the 21st Century: A vital blueprint for ensuring our future*. London, UK. Eden Project Books.

Gerzon, M. 2010. *Global Citizens: How our vision of the world is outdated, and what we can do about it*. London, UK. Rider Books.

Haydon, G. 2006. *Education, Philosophy & the Ethical Environment*. Oxon/New York, USA. Routledge.

Anderson, LW et al. 2001. *A Taxonomy for Learning, Teaching, and Assessing: A Revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives*. New York, USA. Addison Wesley Longman, Inc.

Hattie, J. 2009. *Visible learning: A synthesis of over 800 meta-analyses relating to achievement*. Oxon/New York, USA. Routledge.

Petty, G. 2009. *Evidence-based Teaching: A practical approach (2nd edition)*. Cheltenham, UK. Nelson Thornes Ltd.

Andain, I and Murphy, G. 2008. *Creating Lifelong Learners: Challenges for Education in the 21st Century*. Cardiff, UK. International Baccalaureate Organization.

Jewkes, J, Sawers, D and Stillerman, R. 1969. *The Sources of Invention (2nd edition)*. New York, USA. W.W. Norton & Co.

Lawson, B. 2005. *How Designers Think: The design process demystified (4th edition)*. Oxford, UK. Architectural Press.

Douglas, H. 2009. *Science, Policy, and the Value-Free Ideal*. Pittsburgh, Pennsylvania, USA. University of Pittsburgh Press.

Aikenhead, G and Michell, H. 2011. *Bridging Cultures: Indigenous and Scientific Ways of Knowing Nature*. Toronto, Canada. Pearson Canada.

- Winston, M and Edelbach, R. 2012. *Society, Ethics, and Technology (4th edition)*. Boston, Massachusetts, USA. Wadsworth CENGAGE Learning.
- Brian Arthur, W. 2009. *The Nature of Technology*. London, UK. Penguin Books.
- Headrick, D. 2009. *Technology: A World History*. Oxford, UK. Oxford University Press.
- Popper, KR. 1980. *The Logic of Scientific Discovery (4th revised edition)*. London, UK.
- Hutchinson. Trefil, J. 2008. *Why Science?*. New York/Arlington, USA. NSTA Press & Teachers College Press.
- Kuhn, TS. 1996. *The Structure of Scientific Revolutions (3rd edition)*. Chicago, Illinois, USA. The University of Chicago Press.
- Khine, MS, (ed). 2012. *Advances in Nature of Science Research: Concepts and Methodologies*. Bahrain. Springer.
- Spier, F. 2010. *Big History and the Future of Humanity*. Chichester, UK. Wiley-Blackwell.
- Stokes Brown, C. 2007. *Big History: From the Big Bang to the Present*. New York, USA. The New Press.
- Swain, H, (ed). 2002. *Big Questions in Sciences*. London, UK. Vintage.
- Roberts, RM. 1989. *Serendipity: Accidental Discoveries in Science*. Chichester, UK. Wiley Science Editions.
- Ehrlich, R. 2001. *Nine crazy ideas in science*. Princeton, New Jersey, USA. Princeton University Press.
- Lloyd, C. 2012. *What on Earth Happened?: The Complete Story of the Planet, Life and People from the Big Bang to the Present Day*. London, UK. Bloomsbury Publishing.
- Trefil, J and Hazen, RM. 2010. *Sciences: An integrated Approach (6th edition)*. Chichester, UK. Wiley.
- ICASE. 2010. *Innovation in Science & Technology Education: Research, Policy, Practice*. Tartu, Estonia. ICASE/UNESCO/University of Tartu.
- American Association for the Advancement of Science. 1990. *Science for all Americans online*. Washington, USA. <http://www.project2061.org/publications/sfaa/online/sfaatoc.htm>.
- The Geological Society of America. 2012. *Nature of Science and the Scientific Method*. Boulder, Colorado, USA. <http://www.geosociety.org/educate/naturescience.pdf>
- Big History Project. 2011. *Big History: An Introduction to Everything*. <http://www.bighistoryproject.com>
- Nuffield Foundation. 2012. *How science works*. London, UK. <http://www.nuffieldfoundation.org/practical-physics/how-science-works>.
- Understanding Science*. 1 February 2013. <http://www.understandingscience.org>.
- Collins, S, Osborne, J, Ratcliffe, M, Millar, R, and Duschl, R. 2012, *What 'ideas-about-science' should be taught in school science? A Delphi study of the 'expert' community*. St. Louis, Missouri, USA. National Association for Research in Science Teaching (NARST).

*TIMSS (The Trends in International Mathematics and Science Study)*. 1 February 2013. <http://timssandpirls.bc.edu>.

*PISA (Programme for International Student Assessment)*. 1 February 2013. <http://www.oecd.org/pisa>.

*ROSE (The Relevance of Science Education)*. 1 February 2013. <http://roseproject.no/>.