

自然の仕組みを理解する科学教材・実験模型のデザイン

TEACHING MATERIALS AND EXPERIMENTAL MODELS FOR SCIENCE EDUCATION

古賀 俊策 大学院芸術工学研究科 教授
小倉 繁太郎 大学院芸術工学研究科 教授
見寺 貞子 デザイン学部ファッションデザイン学科 教授
山口 恵子 デザイン学部ファッションデザイン学科 教授
大内 克哉 デザイン教育研究センター 准教授

Shunsaku KOGA Graduate School of Arts and Design, Professor
Shigetaro OGURA Graduate School of Arts and Design, Professor
Sadako MITERA Department of Fashion and Textile Design, School of Design, Professor
Keiko YAMAGUCHI Department of Fashion and Textile Design, School of Design, Professor
Katsuya OUCHI Center for Design Studies, Associate Professor

要旨

わかりやすく面白いサイエンスの授業が注目されている。自然の仕組みを説明するために科学教材・実験模型の製作では機能面が重視されるが、若い世代のデザイン志向にも配慮すれば効果的な授業展開が可能となろう。手を動かして体験し、創意工夫するデザイン教育法は、サイエンス教育においても有益な効果を挙げよう。今回は、本学の授業において原理が理解しにくく、イメージが掴めないテーマについて問題点を明らかにし、わかりやすく面白いサイエンスの授業へ展開するために必要な改善点を考察した。とくに、科学教材・実験模型を作りながら、原理を理解するプロセスを検討した。最初に、光の回折及び干渉（ヤングの干渉実験）についてレーザー光とスリットを用いた教材を製作した。本研究では、理解が困難と思われる量子力学の基本概念をより容易に理解させることを目的とした。併せて我々の住んでいる日常世界が、実は多くの人が想像している以上に不思議な自然法則によって支配されていることを認識させた。また、実験を行う前と後で理解度がどのように向上したかをリサーチし、効果を確認した。さらに、力学の基礎を理解させるうえで、「力と加速度」を理解するための教材を作成した。

Summary

In the field of science education, interesting and attractive contents are required to explain mechanisms of the nature. Not only functional aspects of teaching materials (kyozai), also exterior design of kyozaai would attract students in science class. We examined contents of science education in Kobe Design University and clarify what complicated principles and themes were for students to understand. In particular, using kyozaai and experimental models we considered learning process of students for scientific principles. At first, in Young's experiment (deflection and interference of light) we designed kyozaai with use of laser light and slits. We attempted to improve both materials and skills of teaching regarding basic concept of quantum dynamics. Further, we asked students in class of physics in KDU to recognize mysterious principles of the nature in our daily life. In addition, questionnaire survey was conducted to grasp how the students improved their understanding. Also, to teach basics of dynamics, we designed kyozaai of "strength and acceleration".

1) 緒言

わかりやすく面白いサイエンスの授業が注目されている。自然の仕組みを説明するために科学教材・実験模型の製作では機能面が重視されるが、若い世代のデザイン志向にも配慮すれば効果的な授業展開が可能となろう。手を動かして体験し、創意工夫するデザイン教育法は、サイエンス教育においても有益な効果を挙げよう。今回は、本学の授業において原理が理解しにくく、イメージが掴めないテーマについて問題点を明らかにし、わかりやすく面白いサイエンスの授業へ展開するために必要な改善点を考察した。とくに、科学教材・実験模型を作りながら、原理を理解するプロセスを検討した。

2) 光の回折及び干渉（ヤングの干渉実験）についてレーザー光とスリットを用いた教材を製作した。本研究では、光の波動説概念の形成に決定的な役割を果たすと共に、量子力学の根本原理を確立する際に重要な指針を与えた「ヤングの干渉実験」を、実際に講義中に再現することを試みた。その実験を通して、本学で開講している講義「アトムと光の科学」の中で理解が困難と思われる量子力学の基本概念をより容易に理解させることを目的とした。併せて我々の住んでいる日常世界が、実は多くの人が想像している以上に不思議な自然法則によって支配されていることを認識させた。

背景：16世紀にコペルニクス、ガリレオ、ケプラーといった天文学者が現れることによって、近代的な自然科学が幕開けを迎えた。そこでは様々な自然現象が科学的に論じられるようになるなかで、光についても注目され、探究が始まった。例えばガリレオは光の速さについて考察し、またニュートンとホイヘンスは光の正体について議論し、光は波であるという説（ホイヘンス）と粒子であるという説（ニュートン）が提出された。当時二つの説の決着はつかなかったが、その後光の回折現象が発見されるなどして、光の波動説が

次第に有力になっていく。

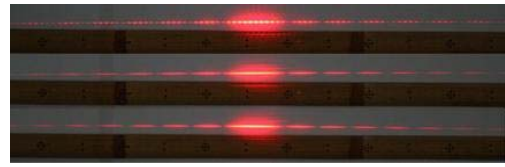
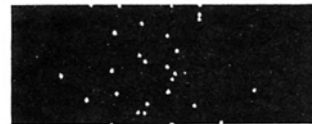
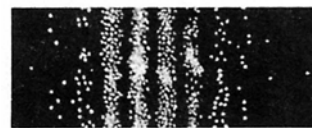


図1. ヤングの干渉実験。二重スリットにレーザーを照射してスクリーンに投影したものの

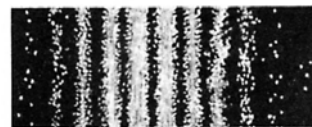
1805年に「トーマス・ヤングによる光の干渉実験」（以下「ヤングの干渉実験」）と呼ばれる、光の実体に関するある決定的な実験が行われた。それは二重スリットにレーザーを照射すると波特有の干渉縞が現れるという現象（図1）で、これによって光は波の一種で



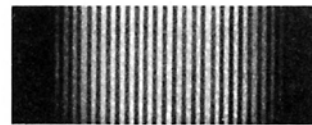
(a) 28個



(b) 1000個



(c) 1万個



(d) 数100万個

図2. 二重スリットに電子を送り込んだもの。電子の持つ粒子と波の二重性を確認した実験

あることの決定的な証拠が得られた。一方で、電磁場の研究から電磁波の存在が予言され、光こそが電磁波の一種であることが判明し、19世紀末には光は電磁波という波の一部であるという認識が一般的となった。

しかしながら 20 世紀に入ると、光はある条件の元で粒子的な振る舞いを示すことが確認され、光には粒子性と波動性という全く相反する二つの性質が共存することが分かってきた。一方で電子や原子といった、それまで粒子だと考えられていた物質も波の性質を併せ持つことがつきとめられた。すなわち、そのような粒と波の二重性は光に特有な性質ではなく、極小世界の物質が持つ普遍的な性質であることが明らかになってきたのである。最終的に光の研究は、そのような極小スケールの現象を統合的に記述する量子力学の誕生へとつながる。

量子力学は常識的な感覚では全く理解できない「確率振幅の波」を記述する力学法則であるが、その核心部分の概念は光の強度を非常に小さくした時の「ヤングの干渉実験」によって確認することができる（実際は電子を用いて実験された）。図 2 にその実験の様子を描画している（この実験は、世界で最も美しい実験の一つとしても有名である）。明らかに個々は粒子であるが、それらが一見するとランダムに配置されつつ時間の経過と共に次第に干渉縞を形成していく過程がみてとれる。ここに粒子性と波動性の明確な二重性が表現されており、この性質を説明する概念が「確率振幅の波」である。

目的と方法：本学で開講している講義「アトムと光の科学」では、身の回りで起きる様々な現象の根底に潜む自然法則を紹介している。その際、一見身近な出来事であるにも関わらず、それらが日常的な感覚では全く理解できないような自然法則に支配されていることが度々あることを実感してもらい、自然がいかにも不思議な存在であるかを認識させることを講義の目的の一つとしている。

本講義では全ての物質が原子と名づけられた無数の微小な粒子から構成され、それらの間に電磁気力が働いているという簡単な描像から出発して、日常の様々な現象を統一的かつ明快に説明していくといったスタイルを採用している。そのような枠組みのなかで、

光（電磁波）の実体にも言及し、それが粒子性と波動



図 3. ヤングの干渉実験に使う光源

性という二つの性質を併せ持つ、日常的な感覚とは大きくかけ離れた存在であることを証明している。最終的には量子力学の奇妙な世界観へと話が発展していく過程で、その中心的な概念である「確率振幅の波」へとつながる「ヤングの干渉実験」を理解することは非常に重要である。

本研究では、講義の中で特に理解が困難と思われる量子力学における粒子性と波動性の二重性という性質を、「ヤングの干渉実験」を実際に体験することを通してより深く理解し、世界がいかにも不思議な法則の元に成り立っているかを実感してもらった（図 3 に実験に使用する光源を掲載）。その際実際に実験を行う前と後で理解度がどのように向上したかをリサーチし、効果を確認した。

予想される結果と考察：

この試みは、2010 年度前期の「アトムと光の科学」の講義期間中に行う予定であったため、先に予想される結果について考察した。これまで本講義において、ヤングの干渉実験は図や言葉でのみ説明していたが、日常的に観測される現象ではないこともあって十分な理解が得られたとはいえない状況であった。今回、実験装置を導入することで、実際に干渉現象を観てもらい、光が波である場合と粒子である場合のそれぞれに

において、その現象をどのように説明できるかを考察させた。特に粒子と考えた時に、目の前で起きている現象を理解するのに大きな困難が伴うことを実感できるであろう。これらの実験を通じて、光という大変身近な現象の背後に、実は大変奇妙な物理法則が隠されていることを実感し、自然がいかにも不思議な存在であることを認識させることができれば、大きな成功である。また、そのような現象を理解することを通じて論理的に物事を捉える思考を身につけることが期待された。

実験に対するアンケート結果：

2010年7月12日の「アトムと光の科学」において、光の干渉実験を行った際、学生の理解度を調査するために、以下の内容でアンケートを実施した。

①「光の干渉」という現象は知らなかった
①で「はい」と答えた人：
②「光の干渉」は、波特有の現象で、光が粒だと考えると説明できない事を理解した。
②で「はい」と答えた人：
③実験は、②の事実を理解する手助けとなった。

アンケートに解答した27人の内、各問に対して「はい」と答えた人数は以下の通りである。

① 14人、② 15人、③ 14人

（一人①で「いいえ」と答えて②、③共に「はい」と答えている。）

この結果から、15人の内、14人が実験が理解に役立ったと評価していることから、実験が大変有効であることが分かった。

問題点としては

- ・統計的な優位性を述べるには人数が少なすぎる。
- ・アンケートの項目に、もう少し改善の余地があったかもしれない。

といった点が挙げられる。実験を通してより理解が深まったと結論付けても良い結果が得られた。

3) 力と加速度、重力を理解する実験・教材の製作

背景：重力場で生きている我々にとって、重力を無視した行動、重力を無視したデザイン芸術はありえない。重力は安定をもたらし、安定を無視したデザイン・芸術は考えられない。造形は重力下でなされ、この重力の作用は分かっているようで理解していない人が多い。そこで、「力と加速度」を理解するための教材を作成した。

滑らかに動くことができる錘にバネを付けた装置を水平、あるいは上下に加速させるとき、装置に相対的な錘の移動、バネの伸縮から加速度の大きさを知ることが出来る。この手作り加速度計を図4に示す。

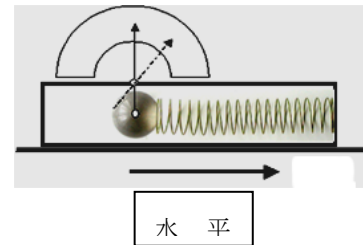


図4. 手作り加速度計の動作図

さらに、いろいろな力と運動、加速度の状態を調べるために、市販の加速度センサを購入して実験した。加速度が錘に作用したときに発生するダイアフラムの歪みとピエゾ抵抗効果を検出して、センサの加速データをPCに表示させることができる。次に、戸車を取り付けた台車の裏側にセンサを固定して、その加速運動によるセンサの出力をパソコンで読み取る装置を作成した。モニターへの出力表示として、X、Y、Z方向を垂直にしたときの出力値が重力の加速度1Gになるようにした。

力学の基礎を理解させるうえで、この実験装置と方法は理科教材としてきわめて有用と考えられる。実際に、生徒や学生に対して提示して「味気ない力学」に興味を持たせ、広く理科学習に興味をもたせる教材としての効果を期待したい。