

アフタヌーンレクチャー「光とはなんだろう」実施報告

長谷川 能三*

概要

2005年度より新規事業として始まったアフタヌーンレクチャーにおいて、第3シリーズ「光とはなんだろう」を担当した。このレクチャーでは、他の普及事業とは違い数式などの使用も前提としたが、その分、参加者の理解を助けたり興味を引くような内容や手法を工夫して行なった。ここでその内容等について報告する。

1. はじめに

アフタヌーンレクチャーでは、1回あたり1時間30分を4回連続(隔週)で行なうため、ある程度まとまった話や積み上げていくような内容も可能である。

今回私が担当した第3シリーズでは、「光とはなんだろう」というタイトルで、光について多面的に取り扱った。また、4回のレクチャーを行なう上で、以下のことを心がけた。

- ・ 4回連続の講座ではあるが、1回ごとにテーマを変え、アラカルト的に行なうことにより、1回休んだとしても次の回に参加しやすいようにした。
- ・ レクチャーの中では数式もあちこちで使用するようにした。但し、なぜ数式が必要なのかということや、その場でその数式を解く必要がないこと、数式を恐れることはないことを強調した。
- ・ レクチャーだけでなく、静電気の実験やスペクトルの観察など、実験や観察も交えることで、メリハリをつけた。
- ・ 図表だけではわかりにくい現象については、動きを表現できるプログラムを組み、参加者がイメージしやすいようにした。

2. 内容

全4回の流れは、以下のようにした。第1回では、参加者の興味を引くことを意識し、色、特に人間の色覚を取り上げた。次に、光はそもそも何であるかを、電磁気学から始め、光の波動的な性質を深く取り上げた。

ただ、なるべく各回を独立させたかったが、この内容は盛りだくさんであるため、第2回・第3回で取り上げた。また、第3回では光の波動性の一例ではあるが、その中でも特に偏光を大きく取り上げる予定であったが、時間の都合であまり取り上げることができなかった。最後に第4回では、光の粒子性と量子力学との関わりを取り上げた。

各回の内容について、詳しくは以下のとおりである。

2-1. 第1回「三原色って何だ? ~色と人間の目~」

光のさまざまな性質の中でも、参加者が興味を引きやすいと思われる光の色について、第1回で取り上げた。

まず、光の三原色でさまざまな色を表わすことができること、しかし一部の色(スペクトルの緑~青)は光の三原色の合成では表わせないことから始めた。

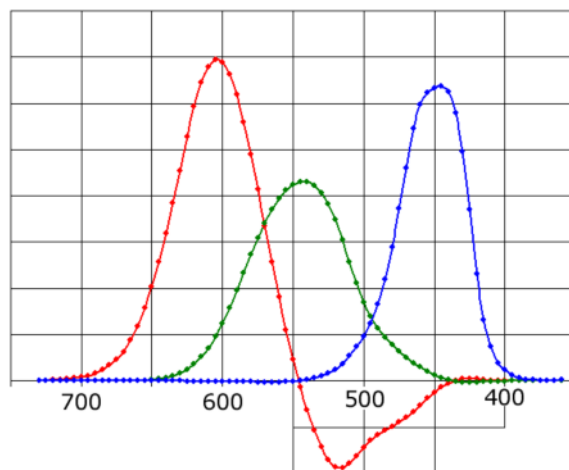


図1 光の三原色で表わせない色が存在することを示すグラフ

*大阪市立科学館 学芸課
E-mail : nozo@sci-museum.jp

次に、一般的によく使われているYxy色度図への変換、色度図の形から全ての色を表わす三原色はありえないこと、光の短波長端が紫色ではなく堇(すみれ)色であることなどへと展開した。

さらに、色盲の方には色度図上でどのような色の区別がつかないのかということから、人間の目の色覚細胞(L・M・S錐体細胞)の性質の話、M錐体だけを刺激する光がないことなどの話へ展開した。

最後に、光の三原色と色の三原色との関係で締めくくった。

2-2. 第2回

「“電気”と“磁石”と“光の仲間”～電磁波～」

第2回では、電磁気学から始めて、光の波動的な性質を取り上げた。

まず、静電気の実験で電気の性質を、大型ネオジム磁石で磁石のまわりの磁場を見せるなどした。そこで、電荷と電荷や磁石と磁石の間に力が働くという考え方から、電場や磁場という考え方へと移行し、その上で、電磁気学の基本であるMaxwell方程式の意味を紹介した。このMaxwell方程式のひとつの解として、平面波の方程式を示し、光(電磁波)にはさまざまな波長・振動数のものがあること、真空中では電磁波の伝播速度は一定であることを示した。

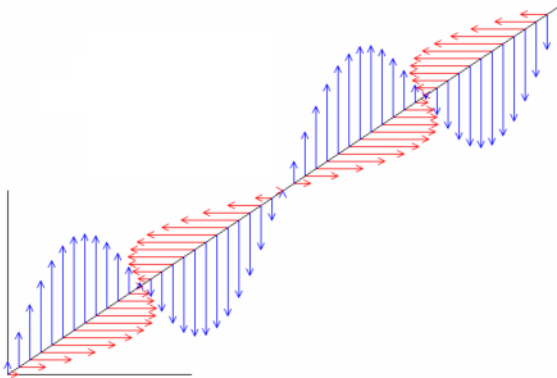


図2 電磁波の動きを示すプログラムの画面

実際には、右上方向に動いていく様子が見える

さらに、波長の違いは光の色として認識していること、電波・赤外線・紫外線・X線・γ線が光の仲間であること、電波も波長によって性質が異なり、さまざまな利用がなされていることを取り上げた。また、さまざまな波長の電磁波がある中で、人間が目で感じることのできる光(可視光)は水の透過率が非常に高いこと、言い換えれば可視光以外の電磁波はほとんど水を透過しないことを話した。このことは、生命の進化において、目という器官が発達するのに重要な因子であったかもしれない。

最後に、波の性質として回折や干渉という現象があること、光にもこれらの性質があることを示して、第2回は終了した。

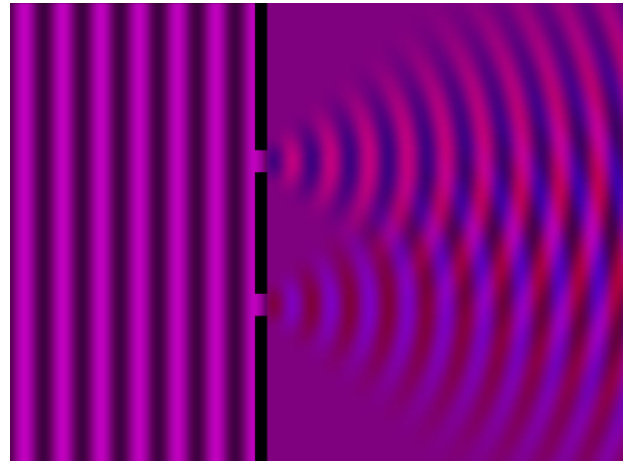


図3 干渉を示すプログラムの画面

実際には波が動いていくのが見え、赤と青のフィルターによって干渉前の波を片方ずつ示すこともできる

2-3. 第3回

「“電気”と“磁石”と“光の仲間”～電磁波～」

「かたよった? 光 ～偏光～」

アフタヌーンレクチャーの準備を始めた頃は、第3回では偏光について取り上げる予定であった。もちろん、偏光も電磁波の性質—つまり光の波としての性質のひとつと言えるが、その中でも特に詳しく取り上げるつもりであった。しかし、電磁波の他の性質についてはおそらく第2回だけでは紹介しきれなくなるため、第3回では第2回の続きをし、その後、特に偏光についてとりあげることとした。しかし実際には、第2回の続きが長くなり、偏光は電磁波の性質のひとつという程度にしか取り上げることができなかった。

第3回では、電磁波の性質として、まず物質中では分極が起き、その結果、光速や波長が変化することを導いた。また、波長が変化することから、光が屈折すること、振動数によって屈折率が違う—分散があることなどへと展開した。さらに、場合によっては屈折率が1より小さくなること、位相速度は真空中の光速を超えることがあるがエネルギーや信号をその速度で伝えることはできず、群速度は真空中の光速を超えないことを話した。

次に、屈折など光の進路についての別の考え方としてフェルマーの原理を紹介した。フェルマーの原理の導入として、まずは4軒の家をつなぐ最短経路の道はどうなるか? おぼれている人を助けるのに砂浜からどういう経路をとれば一番早くたどり着くか? というクイズから始めた。これらの答えを導くのにシャボン膜が表面張

力で表面積が一番小さくならうとすることを利用し、水面などでの光の屈折や、屋気楼が起こる時の光の経路などが同じようにシャボン膜で示されること、つまり光が最短経路を通ることを示した。

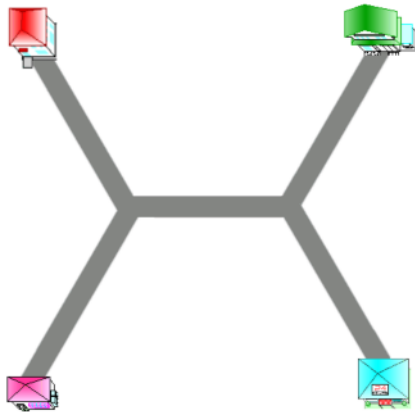


図4 4軒の家を結ぶ最短経路

最後に、簡単にはあるが偏光を取り上げた。光の振動面が2つに分けられること、ガラスなどの表面で反射した光が偏光していること、複屈折を示す物質では、偏光面に変化が起きることなどを示した。

2-4. 第4回「光子ってきくけど... ～光の粒子性～」

最終回は、光の粒子性を取り上げた。まずは、そもそも粒子とはどんな性質なのか、波はどんな性質があるのかというところから始めた。その上で、光電効果という現象が、光が波としては説明しにくく、光があるエネルギーのかたまりとして振る舞うことを話した。

次に、水素のスペクトルを見てもらい、この中の H_{α} 線と H_{β} 線の波長には整数比の関係があることなどから、ボーアの水素原子モデルへ展開したが、量子力学に深入りするとたいへんなので、前期量子論にとどめた。

さらに、原子がたくさん並んでいるときには、電子のとるうるエネルギーレベルが広がり、バンド状になること、そのバンド間の電子遷移に伴う光の吸収・放出が、太陽電池や発光ダイオードになっていることを話し、締めくくった。

3. 参加状況

各回の出席者数は以下のとおりであった。

表1. 各回出席者数

申し込み	52名
第1回 (2月3日)	39名
第2回 (2月17日)	35名
第3回 (3月3日)	32名
第4回 (3月17日)	28名

申し込み者52名に対し第1回の参加者はその4分の3しかおらず、その後も参加者は徐々にではあるが減っていった。それぞれの参加者が何回出席したかを調べてみると、表2のとおりであった。

表2. 参加者の出席回数

4回とも出席	20名
3回出席	11名
2回出席	8名
1回だけ出席	5名
1回も出席せず	8名

この中で、申し込んだが1回も出席しなかった方が8名もいたのは残念だった。しかし、さらに詳しく調べると、3回出席した11名の内で最初の3回のみ出席が6名、2回出席した8名の内で最初の2回のみ出席が4名、1回だけ出席した5名の内で最初の1回目のみ出席が4名と、いずれも半数以上となっている。このことは、単にスケジュールの都合で出席できなかっただけでなく、残念ながら途中から出席することをやめてしまった方が多いことを示している。

4. アンケート結果

第4回終了後に、アンケート調査を行なった。以下はその結果の一部である。

表3. 難易度

非常に難しい	2名
難しい	5名
やや難しい	9名
想像していた程度	5名
やや易しい	3名
易しい	1名
非常に易しい	0名

表4. 難易度

もっと難しい方がいい	1名
もう少し難しい方がいい	4名
これくらいがいい	13名
もう少し易しい方がいい	7名
もっと易しい方がいい	0名

表5. 数式について

ない方がいい	3名
あれくらい出るのがいい	12名
もっとあった方がいい	1名

表6. 数式について

理解が深まった	6名
あってもなくても関係ない	9名
かえってわかりにくい	4名
数式をみるだけでイヤ	0名

また、実験やパソコンによる動きのある図はおおむね好評であった。

4. 考察

通常、例えば友の会の例会のメインの話題などでは、なるべく数式やグラフなどを出さないようにしているが、そのために話の展開に限界もある。そこで、今回のアフタヌーンレクチャーでは、数式をあちこちで使用した。但し、数式をその場で解いたりする必要などないことを何度も言い、数式を出した時には、その数式の意味することをその場で解説した。

また、参加者のおよそ3分の2が友の会会員であるが、1回あたりの時間の1時間30分は例会のメインの話題の約2倍の時間である。このため、全体的に深い話をするのができたが、その分、やはり少し難しくなってしまった。

その代わり、図だけでなく、動きのある方がわかりやすいものについてはパソコンのプログラムを作り、動きを見せるようにした。また、1時間30分がレクチャーの

みでは単調になりがちであるので、ちょっとした実験や観察を交えるようにした。また、基本的な話だけでなく、光についてある程度知っている方でもあまり知らないような話を、なるべく交えるようにした。

しかし、参加者が予想していたよりも内容が難しかったのか、期待していた内容と違っていただけなのか、残念ながら徐々に参加者は減ってしまった。各回の終了後、なるべく参加者と話をするようにしたが、会場に残ってまで話をするのは、どちらかというともっと深く知りたい方の方であった。

一方、アンケート結果を見ると、参加者の平均的な感想は、やや難しかったものの、これくらいのレベルがよく、数式もこれくらい出てくるのがいいが、数式があってもなくてもあまり関係ないかやや理解の役に立ったかなといったところである。しかしこれは第4回の参加者へのアンケート結果であるので、途中で参加をやめた方はもっと難しく感じていたのだと思われる。

最後に全4回を振り返ってみて、内容としては光についての基本的な部分を押さえつつ、自分らしい展開や話をするのができたと思える。しかし、適切な例えができなかったり、思った通りの図やプログラムを作ることがなかなかできなかったりなど、もどかしい思いをする点も多かった。もう少し参加者にわかりやすい表現ができていれば、参加者が減るのを防ぐことができたのではないかと悔やまれる。

参考文献

- 日本色彩学会 編 「新編色彩科学ハンドブック第2版」(東京大学出版会), 1998
- 日本色彩学会 編 「色彩用語事典」(東京大学出版会), 2003
- J. D. ジャクソン 著 西田稔 訳 「電磁気学原書第2版(上)」(吉岡書店), 1995
- ファイマン, レイトン, サンズ 著 富山小太郎 訳 「ファインマン物理学 光熱波動」(岩波書店), 1990
- 日本規格協会 編集 「JISハンドブック24光学機器」(財団法人日本規格協会), 2005
- 原康夫 著 「岩波基礎物理シリーズ5量子力学」(岩波書店), 1994
- 栗野諭美, 田島由起子, 田鍋和仁, 乗本祐慈, 福江純 著
「マルチメディア宇宙スペクトル博物館<可視光編>天空からの虹色の便り」(裳華房)
- コニカミノルタ 「色色雑学」
<http://konicaminolta.jp/entertainment/colorknowledge/index.html>
- 伊藤啓, 遠藤啓太(東京大学分子細胞生物学研究所) 「色覚バリアフリー」
<http://jfly.iam.u-tokyo.ac.jp/lab/colorresearch.html>
- 岡部正隆(国立遺伝学研究所), 伊藤啓(東京大学) 「色覚の多様性と色覚バリアフリーなプレゼンテーション」
<http://www.nig.ac.jp/color/barrierfree/barrierfree.html>
- 福田忠彦(慶応大学環境情報学部) 「感覚の生理と心理」
http://gc.sfc.keio.ac.jp/cgi/class/class_top.cgi?2003_14454
- 総務省 「電波利用ホームページ 周波数割り当て・公開」
<http://www.tele.soumu.go.jp/j/freq/index.htm>