



2015年は世界光年(ひかりねん)

明けましておめでとうございます。今年2015年は、国際連合により世界光年(International Year of Light and Light-based Technologies:光と光を基礎とした技術についての国際年)に制定されています。2015年は、光についていろいろと記念すべき年であるからということなのですが、そのいろいろなこととは、

- ・ 1015年のイブン・アル・ハイサムによる光の研究から1000年
 - ・ 1815年にフレネルが光の波動説を唱えてから200年
 - ・ 1865年のマックスウェルによる光の伝搬についての電磁気論から150年
 - ・ 1905年にアインシュタインが光電効果の理論を発表してから110年、1915年の一般相対性理論により宇宙論において光が組み込まれて100年
 - ・ 1965年のペンジアスとウィルソンによるマイクロ波の宇宙背景放射の発見と、カオによる光通信のための光ファイバーについての業績から50年
- ということなのです。

でも、最初のイブン・アル・ハイサムって誰で何をした人なのでしょう？私自身も初めて聞いた名前です。全く知らなかったのですが、10～11世紀の中東の科学者で、物理学以外に数学・天文学・医学・哲学・音楽にも詳しくそうです。特に光学の分野では、カメラの語源にもなっている「カメラ・オブスキュラ」の原理を考察したり、人間の

目の構造を研究し、メガネの原理を考えたりして

いたことらしいのです。

ヨーロッパではアルハーゼンという別名で知られ、彼の著書は後の多くの科学者にも影響を与えたとか…。またアルハーゼンの名は、月のクレーターにも付けられています。でも、全然聞いたことがなかったんですが…。



写真1. イブン・アル・ハイサム

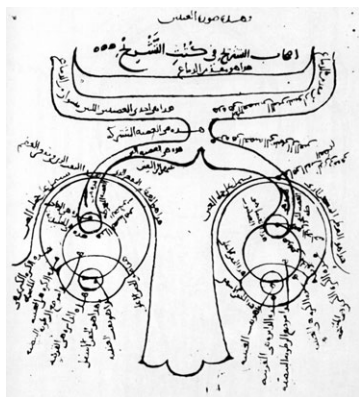


写真2. 目の構造を描いた図



写真3. イブン・アル・ハイサムの著書「光学の書」の表紙絵

よく見ると、太陽の光を凹面鏡で集めて船を燃やすアルキメデスの光線銃や、鏡に顔が映った様子、水につかった足が光の屈折によって折れ曲がったように見える様子の他、空には虹が描かれている

それでは、ここでは世界光年にまつわるいろいろな業績の中から、カメラ・オブスキュラ、光電効果、光ファイバーとそれらに関することをみていくことにしましょう。



1. カメラ・オブスキュラ

「カメラ・オブスキュラ」とは、ラテン語で暗闇(Obscurum)の部屋(Camerae)の意味です。部屋を真っ暗にして、壁に1ヶ所だけ小さな穴をあけると、外の景色が部屋の壁に逆さまに映る…これがカメラ・オブスキュラです。このことはかなり古くから知られていたのですが、イブン・アル・ハイサムはろうそくを並べておいてその炎の光がカメラ・オブスキュラによって映る様子から、光には直進性があることを見いだしました。

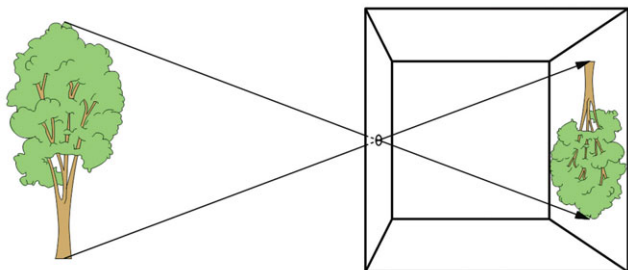


図1. カメラ・オブスキュラ

部屋そのものをカメラ・オブスキュラにするのはちょっとたいへんですが、紙箱やお菓子の缶などに小さな穴をあけても同じことができます。ただ、箱の中に入って壁に映った景色を見るわけにはいきませんので、代わりに写真の印画紙を貼り付けたものがピンホールカメラです。カメラ・オブスキュラやピンホールカメラでは、穴を大きくすると像は明るくなりますがボケてしまい、小さくするとシャープになる代わりに像は暗くなります。ただ、暗くてもいいからといって穴を小さくしすぎると、光の回折という現象のためにかえって像がまたボケてきます。

昨年、友の会の光のふしぎサークルでも、ピンホールカメラを作ってみました。箱は靴が入っていた紙箱、穴(ピンホール)はアルミ缶を切り開いたアルミ板に縫い針を回しながら約0.3mmの穴をあけたものを紙箱に貼り付けています。2~3分の露出時間が必要ですが、結構シャープに写すことができました。写真4は撮影した印画紙そのものですので白黒が反転したネガですが、これに印画紙をもう1枚重ねて光をあてることにより、白黒を元に戻すことができます。

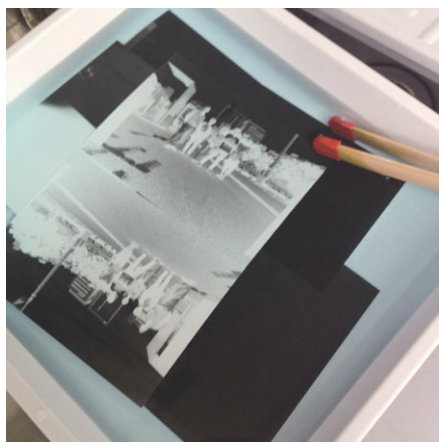


写真4. ピンホールカメラで撮影した写真

2. 光電効果

アインシュタインの功績として相対性理論(理解しているかどうかは別に)よく知られていますが、アインシュタインがノーベル物理学賞を受賞したのは、この光電効果についての業績によってということになっています。

光電効果というのは、金属に光や紫外線をあてたときに、電子が飛び出す現象です。光を強くすると飛び出す電子も多くなるのですが、赤い光ではいくら光を強くしても電子は飛び出しません。しかし、青い光やさらに紫外線では電子は勢いよく飛び出してきます。



写真5. 光電効果をデザインした西ドイツの切手

このことは、光が波であると考えると説明ができません。光はなにかしら粒子のようなものと考え、この粒子の持つエネルギーは赤い光よりも青い光の方が大きく、さらに紫外線はもっと大きなエネルギーを持っているとします。そして、強い光というのはこの粒子の数が多い…と考えると説明することができます。

このように、光が粒子のような性質を持つ一面を「光子」と呼んでいます。もちろん光には波としての性質もあります。しかし、光が電子にエネルギーを渡すときには、1つの電子に対して光の色(波としての性質でいうと波長)で決まっているエネルギーしか渡さないのです。このエネルギーの大きさは光の波長に反比例していて、波長が620nmの赤い光の(光子が持っている)エネルギーは2.0eV(エレクトロンボルト)、413nmの青い光なら3.0eV、310nmの紫外線なら4.0eVとなっています。ここでeV(エレクトロンボルト)というのはエネルギーの単位で、電子が1V(ボルト)の電圧で得るエネルギーが1eVです。

逆に電子がエネルギーを光として放出するときにも、このエネルギーと光の色の関係は成り立っています。発光ダイオードは色によって光らせるのに必要な電圧が異なり、赤色LEDは2V(ボルト)程度で点灯させることができますが、青色LEDは3V以上必要です(少しエネルギーのロスがあります)。白色LEDは青色LEDと蛍光剤を組み合わせるので、白色LEDを使ったペンライトでは乾電池を3本使用するものが多いのです。

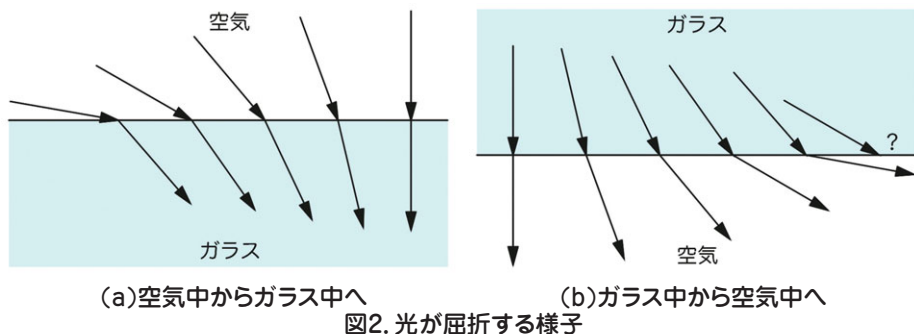


3. 光ファイバー

2014年のノーベル物理学賞が青色LEDの開発と実用化に対して授与されたことで、こういった身近なものにもノーベル賞が…と思われた方も多かもしれません。しかし2009年には、光ファイバーの実用化への理論的な道を切り開いたとして、チャールズ・K・カオにノーベル物理学賞が授与されています(この年は、デジタルカメラなどに使われるCCDの発明に対して、ウィラード・ボイルとジョージ・スミスにもノーベル物理学賞が授与されています)。

今やパソコンをインターネットにつなぐのに、光ファイバー回線を利用している方も多いことでしょう。また、透明なプラスチックファイバーの束に下から光をあてて、先端がきれいに光るのを見たことがあるかと思います。このように透明なファイバーは光を伝えることができるのですが、いったいどうしてなのでしょう。もちろん透明だから光が通る…というのは確かなのですが、それだけではないのです。

光は水面やガラスの表面などで屈折しますが、屈折率が低い空気中から屈折率が高い水やガラスに入る時には図2aのように曲がります。反対に水やガラスの中から空気中へ出るときには図2bのように反対向きに曲がります。このとき、どんな角度で入ったらどんな角度で出ていくのかは、図2aとbでちょうど逆になっていますので、図2aを180度回転させると、矢印の向きは逆ですが図2bと光の経路は同じになっています。



では、図2bの一番右のような角度でガラスから出ていこうとする光はどうなるのでしょうか。図2aでガラス中へ入ってからこのような角度で進む光はありません。このため、光が屈折率の高いものから低いものへ浅い角度であたった場合、屈折して出ていくことができません。この場合、鏡ではないのに光は100%反射するので、これを「全反射」といいます。透明なファイバーでは、この全反射のために光がファイバーの外へ漏れず、ファイバーの中を進んでいくのです。

しかしある決まった角度以下の浅い角度でなら全反射が起こるため、図3のようにいろいろなジグザグな経路で光はファイバーの中を進んでいくことができます。すると、どれくらいのジグザグで進むかによって、光がファイバーの入口から出口まで届く時間が異なってしまいます。このため、光の点滅で信号を送ろうとしても、このままではだんだん点滅がはっきりしなくなってしまいます。

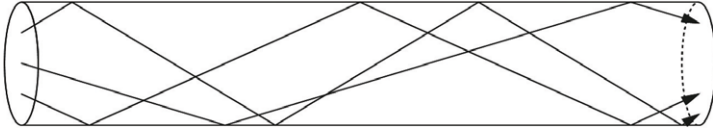


図3. ファイバー中をいろいろな角度で進む光

そこで光通信用のファイバーでは、まん中には屈折率がやや高いガラスで作ったコアと呼ぶ部分があり、その周りをクラッドと呼ぶ屈折率がやや低いガラスで覆った形になっています。光が進むのはコアの部分なのですが、コアとクラッドの屈折率の差がわずかであるため、光は非常に浅い角度のジグザグでしかコアから漏れずに進むことはできません。

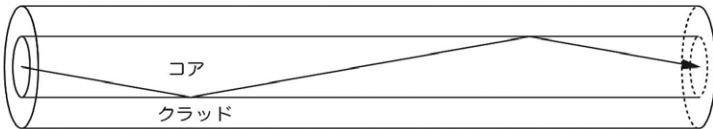


図4. 光ファイバーのコアを進む光

さらに、このコアを光が進むジグザグの経路ですが、ある決まった角度のジグザグの場合にだけ、となりあった光と波の山と山(図5の●印)、谷と谷が揃うのです。これ以外の場合には光は打ち消しあってしまうので、光はこうなる角度のジグザグな経路で進んでいきます。コアを細くしていくと、このような経路をひとつだけにすることができ、これで光の信号が崩れることなく遠くまで伝えることができるのです。

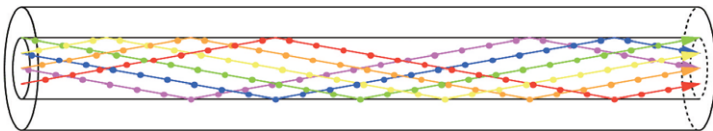


図5. 光ファイバー中で打ち消し合わない光(線の色は光の色ではありません)

しかし、このようにコアを非常に細くした光ファイバーは、2本の光ファイバーをつなぐときに、細いコアとコアをぴったり合わせるのが難しいのです。そこで、光ファイバーの中央から周辺にいくに従って徐々に屈折率が小さくなっていくものなどいくつかのタイプの光ファイバーがあり、用途によって使い分けられています。

長谷川 能三(科学館学芸員)