

## 第 1 章

# 照明における 物理的基本現象について

## 1-1 光がどこを通るのか

光が伝播する際には、空気や、硝子などの何らかの媒質を通過することになります。また、それら媒質同士が接する境界面も通過することになります。照明系ではどこを光が通過するかが結像系の対象に比べて多様になります。一応ここで、照明系において光が通過する場について押さえておきましょう（図1-1）。

### (1) 誘電体の形成する自由空間

光が透過する媒質は一般的に誘電体と呼ばれる、透明な媒質です。真空、空気、液体、硝子のようなものが含まれます。一般的なレンズ系の材料も当然、誘電体であって、通常そこに電荷も電流も生じていないと考えます。光学設計的に、一般的な場合には、誘電体の性質を決める最も重要な要素は屈折率です。屈折率はその名の通り、異なる屈折率の媒質が形成する境界面を光波が通過するとき、その光路が曲げられる度合いを表すものですが、根本的な性質としては、真空中とその媒質内での光の速度の比を表します。因みに屈折率 1.5 の媒質中の光速は真

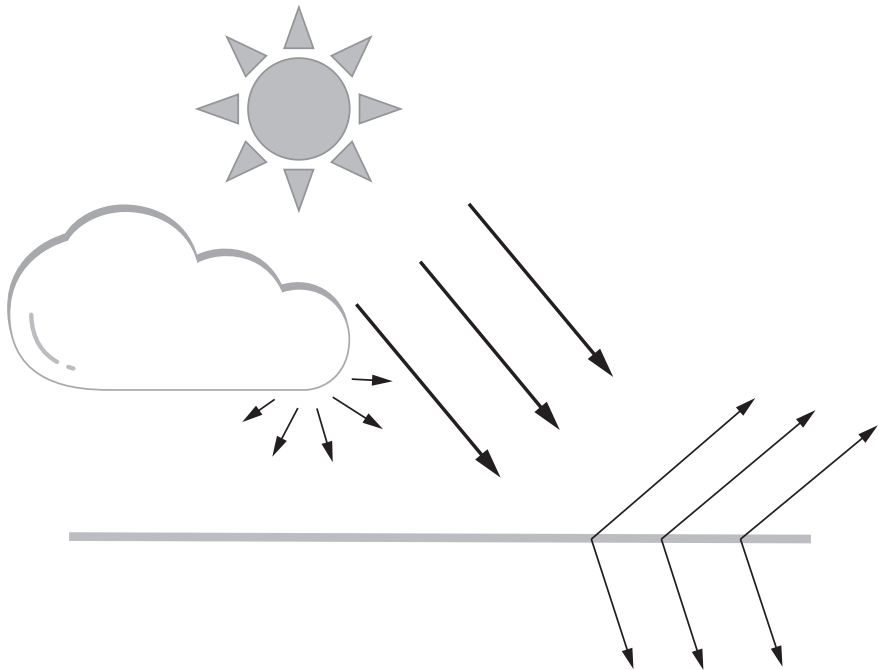


図1-1 光の進行

空中の速さの1/1.5になる訳です。(光学ガラスの屈折率表示では、一般的に空气中との速度の比を表しています。)

レンズなどの光学機器に用いられるためには、媒質には、本来は全ての位置、或いは全ての光の振動方向に対して屈折率が一定であること、つまり等方性が求められます。しかし、媒質の結晶構造そのものにより、或いは圧力等の物理的条件により(プラスチック系素材に際立つ)、光波の振動方向に対して屈折率が異なり、光波が分離する現象も起こり得ます(複屈折現象)<sup>2)p.75</sup>。

また、その中で人工的に屈折率変化を伴った媒質も存在します。屈折率分布ガラス(Gradient Index Glass)と呼ばれるものです。屈折率が分布することで、レンズにおける曲面加工を表面に施さなくても、光を曲げ、集光することができ、ファイバーの材質ですとか微細なアレイレンズ等に利用することができます。

## (2) 異なる性質の媒質により形成される境界面

誘電体境界面、つまり屈折率の異なるガラスとガラス、空気とガラスなどの境界面においては、屈折、反射が起こります。また、上記、誘電体に比し、金属などの導体は光を反射、吸収して、透過させません。空気、ガラスなどの誘電体と金属面の境界においては主に反射が起き、鏡面となります。

微小な凹凸を持つ境界面等においては、上記の屈折反射現象が複雑に起こると考えてもよいのです。しかし、表面微小構造が細くなるにつれ、その微小構造による回折現象が顕著になってきます。その最も端的な例が回折光学素子と呼ばれるものです。誘電体、或いは導体との境界面に微細構造を形成し波動的な回折現象を利用し光波の進行のコントロールを行うものです<sup>2)p.168</sup>。場合によってはレンズ機能さえ付加できます。このような現象は、照明系においても、精密な配光制御等の目的のために応用されてきています。

## 1-2 光がどのように通るか、散乱

前項の続きで3種類目の場として分類してもよいかと思いますが、媒質中に微粒子が分布していて、そこを光が通る場合があります。

### (3) 微粒子の存在する誘電体媒質

誘電体媒質中に微小な粒子が存在する場合、その粒子の起こす光学的な現象（主に反射、屈折、回折）を散乱と呼びます。照明系の場合にも屈折率を変化させ、散乱を利用して配光を制御するなどの目的で、導光板等にこうした数十ミクロン以下の粒子を混入する場合もあるのです。

散乱現象の基本的分類は照明設計的な波動光学の範疇では以下の通りです。

#### ● レイリー散乱

波長に比べて十分に小さい反射物体を考えると（100 nm 以下、波長の1/10程度）、この散乱は強い波長依存性を持ち、レーリー散乱と呼ばれています。短い波長の青い色の光が多く散乱され空はレイリー散乱により青く見えます。

#### ● ミー散乱<sup>9)</sup> III p.265

物体が小さくて、一般的な回折近似理論の誤差が大きくなり、また完全に回折に対する物体の大きさを無視する程に小さくもないので、レーリー散乱の理論も成立しない領域が存在します。この領域における大きさの球による散乱計算を担う理論がミー（Mie）理論（1908年）です。この理論により計算される散乱を便宜的にミー散乱と呼びます。ミー理論は多くの場合、物体の大きさが数mm程度から100nm程度の大きさに及ぶ、大気中の水滴、或いは媒質中の粒子などによる散乱の解析に用いられます。この散乱の波長依存性は少なく（白く見え）、散乱もいろいろなパターンでコントロールできるので、導光板設計などで利用されるのは、このミー散乱です。なお、蛍光体による散乱以前と以後で波長が変換されるような散乱（コンプトン散乱、ラマン散乱）は、古典的な波動光学的散乱の範疇からは外れます。

こうした波動光学的散乱以外にも、照明系では拡散と呼ばれるような現象が用いられます。拡散板と呼ばれる部品もあります。こうしたものはだいたいシート、或いは誘電体表面に微細な構造を施して、幾何光学的反射、屈折を利用したり、波動光学的回折現象を利用したりして光を散らす効果を持つものです。一番簡単な例は摺りガラスです。照明系設計では非常に重要な光学的要素でもあるので本書後半（9-5項）でも触れさせていただくこととなります。

## 1-3 光の進み方を考える・光線とは

一般的な透明媒質中では光は直進します。その進行方向を光線という線で補助的に表現することができます。本来、光は波としての性質を持ちますが、

① 非常に光が集中している状態を詳細に解析する場合

② 光の明暗の境界の状態を詳細に解析する場合

③ 単色性の強い光源の大きさが非常に小さい場合

④ 小さな構造を通る光、或いは小さな絞りを通る光を遠方から観測する場合

等の場合以外には、光線を代表させて光の振る舞いを、単純明快に考えることができます。上述の通り、このような範囲で光を考える学問を幾何光学と呼びます。

一般的な照明系設計の場合には、専ら波長オーダーの屈折率の変化のある構造のない、広大な空間における光の伝播を対象とするので、この幾何光学の範疇で照明系の設計が行なわれると考えてもよいのです。(レーザ光源、或いは単色性の強い非常に発光面の小さなLED等においては波動光学的評価は重要になります。)本書では、この幾何光学理論の範疇で主に解説させていただきます。

またさらに、光の進み方を考える上で重要な法則、ならびに計算結果の量として以下のものが挙げられます

### ●フェルマーの原理・光路長<sup>1)p.16</sup>

光は屈折率と光が進行した距離を掛けた光路長が(或いはその合計が)極値(一般的には最小値)となる経路を通過します。屈折率が一定の空気、真空、光学ガラスの一般的状態においては、その媒質中で光は直進します。また、温度分布により屈折率が不均一に分布している大気中、屈折率が分布しているガラスにおいて光は曲進することになります(図1-2)。

屈折率は、真空中に、ある距離を光が進むのに要する時間と、そのガラス中の同じ距離を進むための時間との比であって、フェルマーの原理とは、結局“光はA、B間が最短時間となる経路を進む”とも考えることができます。

### ●スネルの法則<sup>1)p.18</sup>

異なる屈折率を持つ媒質境界面では、以下のスネルの法則により屈折・反射現象(図1-3)が生起します。照明シミュレーションに

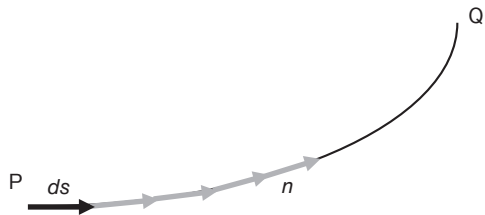


図1-2 光の曲進

における光線追跡はこの式をもとに行われています。

$$N_1 \sin \theta_1 = N_2 \sin \theta_2 \quad (1)$$

その屈折と反射作用はガラスとガラス、或いは空気等の誘電体境界面においては、実は同時に起こっていて、それらの光の強度の割合はフレネルの反射強度の式により計算することができます。金属面（ミラー）の場合には、スネルの反射則に則る反射のみ顕著に起きることになります。（この場合には吸収は起こっています。）

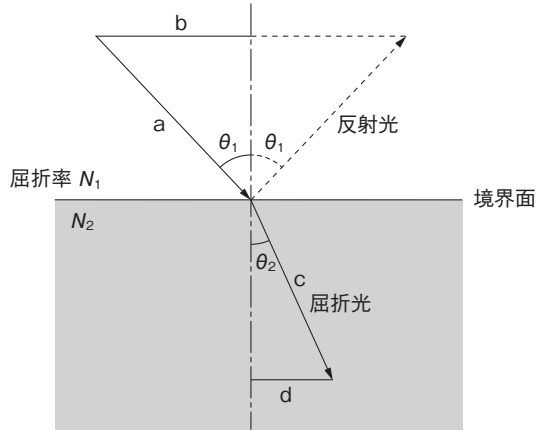


図 1-3 スネルの屈折則・反射則

●幾何光学における明るさの概念（幾何光学的強度の法則）<sup>1) p.20</sup>

観察面上の光線の密度が小さくなると、観察面上での明るさは暗くなります。光路の途中にレンズ等の光学系が存在していても、微小面積と、単位面積当りに通過する光の明るさの積は、光の進行に伴っても一定になります（図 1-4）。

$$I_1 dS_1 = I_2 dS_2 \quad (2)$$

コンピュータによる一般的な照明計算では、この概念に基づいて明るさを定量的に算出しています。

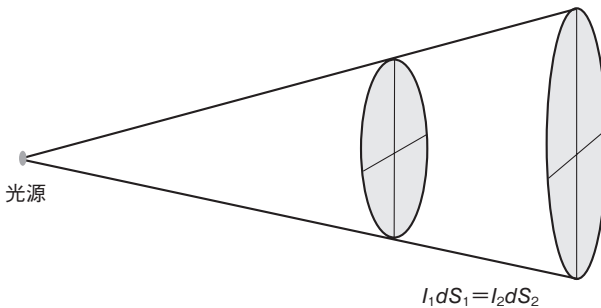


図 1-4 幾何光学的強度の法則