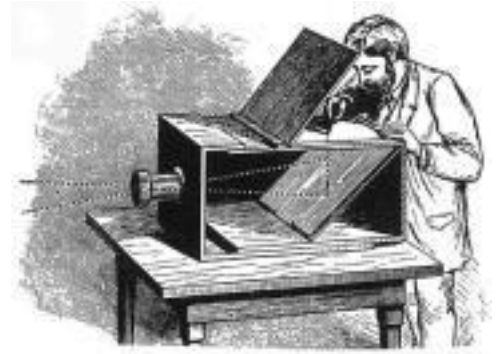


1. カメラの歴史

1-1. カメラ発明以前

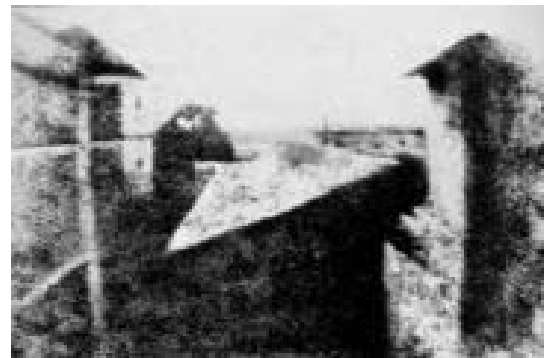
16世紀頃には、カメラ・オブスクラやカメラ・ルシダなどの装置を用い、投影された影をなぞって風景画などを描くことが行われていた。

18世紀には、銀の化合物（塩化銀）に光に当てると黒く変色すること知られていた。



1-2. カメラの発明（1827年：ジョゼフ・ニセフォール・ニエプス）

最初に撮影された写真は、亜鉛板（真鍮）を磨き上に、石油の副産物であるアスファルトを塗布したのものをカメラ・オブスクラに装填して作成された画像である。アスファルトは光に当てると硬くなり、水に溶けなくなるという性質を利用している。右の写真が自宅からの眺めを8時間の露光により定着させたものである。これが最初の写真の写真であるかどうかは、露光時間が8時間と大変長いいため意見の分かれるところである。



1-3. ダゲレオタイプ（1839年：ルイ・ジャック・マンデ・ダゲール）

磨き上げた銀板をヨウ素の蒸気にさらし、表面にヨウ化銀の皮膜（黄金色）を形成する。

ヨウ化銀は光が当たると銀とヨウ素に分解する。この状態では目に見えない潜像であるが、水銀蒸気と反応させると、銀が水銀と反応して合金（アマルガム）を作り画像が浮き出してくる。定着には食塩水を用いて定着させていた。（銀板写真）



1-4. カロタイプ(1840年：ウィリアム・フォックス・タルボット)

塩化銀を塗布した紙を使って撮影することにより、一旦白と黒が反転したネガを作成し、ここから別の感光紙に密着焼付けを行いポジを得る方式を考案した。紙を使用するため、金属板を使うダゲレオタイプとは異なり鮮明さでは劣ったが、カロタイプのネガはポジ(写真)を焼くのに何度でも使えて複製が作れるというダゲレオタイプにはない利点があった。



1-5. コロジオン法(1851年：フレデリック・スコット・アーチャー)

金属板に代わりガラス板を使ってネガを作る方法が考案された。コロジオン法はダゲレオタイプの鮮明さとカロタイプのネガポジ方式の複製可能性の両方を併せ持っていた。(湿版写真)



1-6. ゼラチン乾板(1871年：リチャード・リーチ・マドックス)

臭化銀をゼラチンに混ぜた感光乳剤をガラス板に塗ったゼラチン乾板が考案された。感度も高く、またコロジオン法は撮影者自身が湿板を用意しなければならなかったのに対し、市販されたものを手軽に使用することができた。これによって、撮影の機動性も良くなり、感度が高くなったことで、今まで撮れなかった動いているものも撮れるようになった。エドワード・マイブリッジによる、走る馬や跳ぶ人間の動きの瞬間を捉えた連続写真もこれで撮影された。

1-7. ザ・コダックの発売(1888年：ジョージ・イーストマン コダック社)

100枚撮影可能なロールフィルムを内蔵して販売。撮影後はコダックに送り返すと新しいフィルムを装填したカメラがプリントと共に戻ってくるシステムであった。このカメラは写真好きのアマチュア層を拡大した。

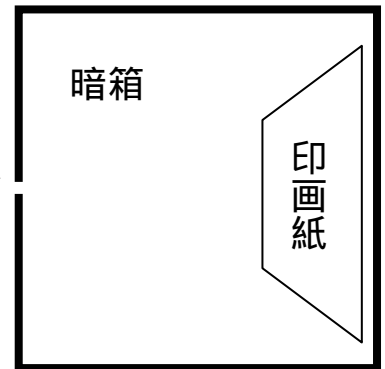


2. ピンホールカメラの原理

2-1. ピンホールカメラの構造は？

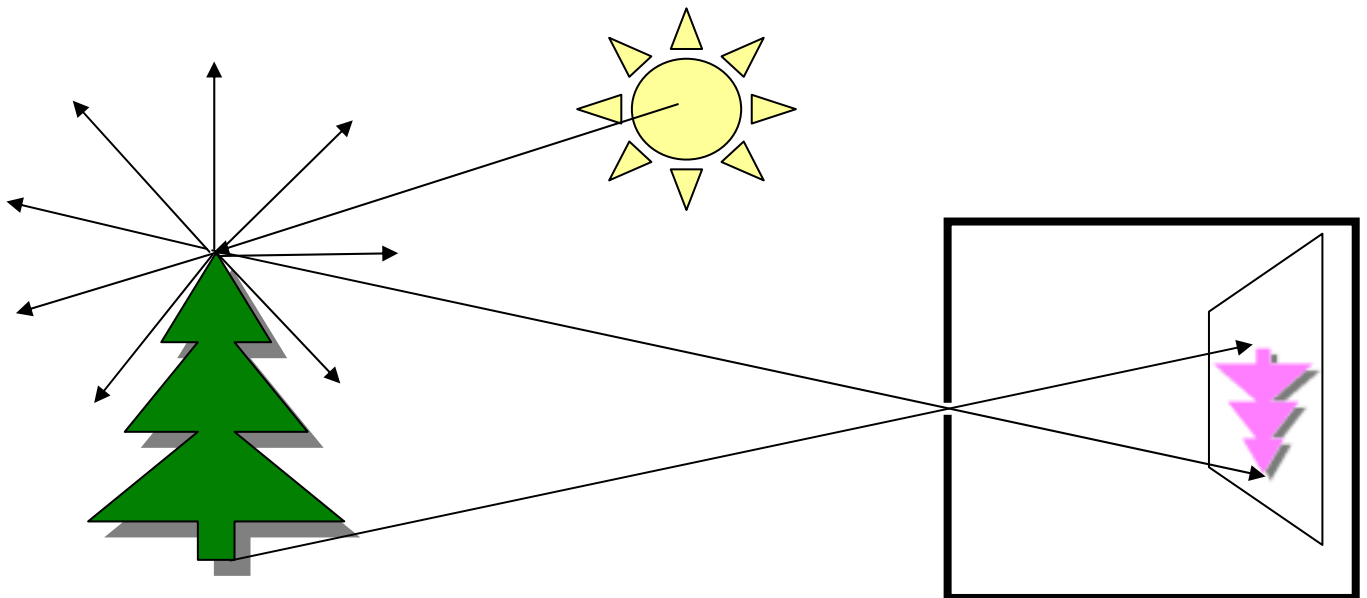
ピンホールカメラの構造はいたって簡単で、光の入らない箱（暗箱）にピンホールを付けただけのものです。この中に、感光媒体である印画紙やフィルムを入れて撮影します。

ピンホール



2-2. なぜ写真がとれるの？

被写体に光が当たると、その光は様々な方向へ反射し散乱します。被写体のある一点から反射した光のうちピンホールを通過した光だけが印画紙上に到達し小さな点として残ります。レンズを使用したカメラと違って、一度に多くの光が入りません。このため、撮影には長い時間がかかります。また、ピンホールが小さいとはいえ、ある程度の大きさがありますので普通の写真のような解像度（鮮明さ・細かさ）は得られません。そのかわり、レンズを使っていないので焦点というものではなくピンボケにはなりません。手前のものから遠方まで同じ解像度で写すことができます。

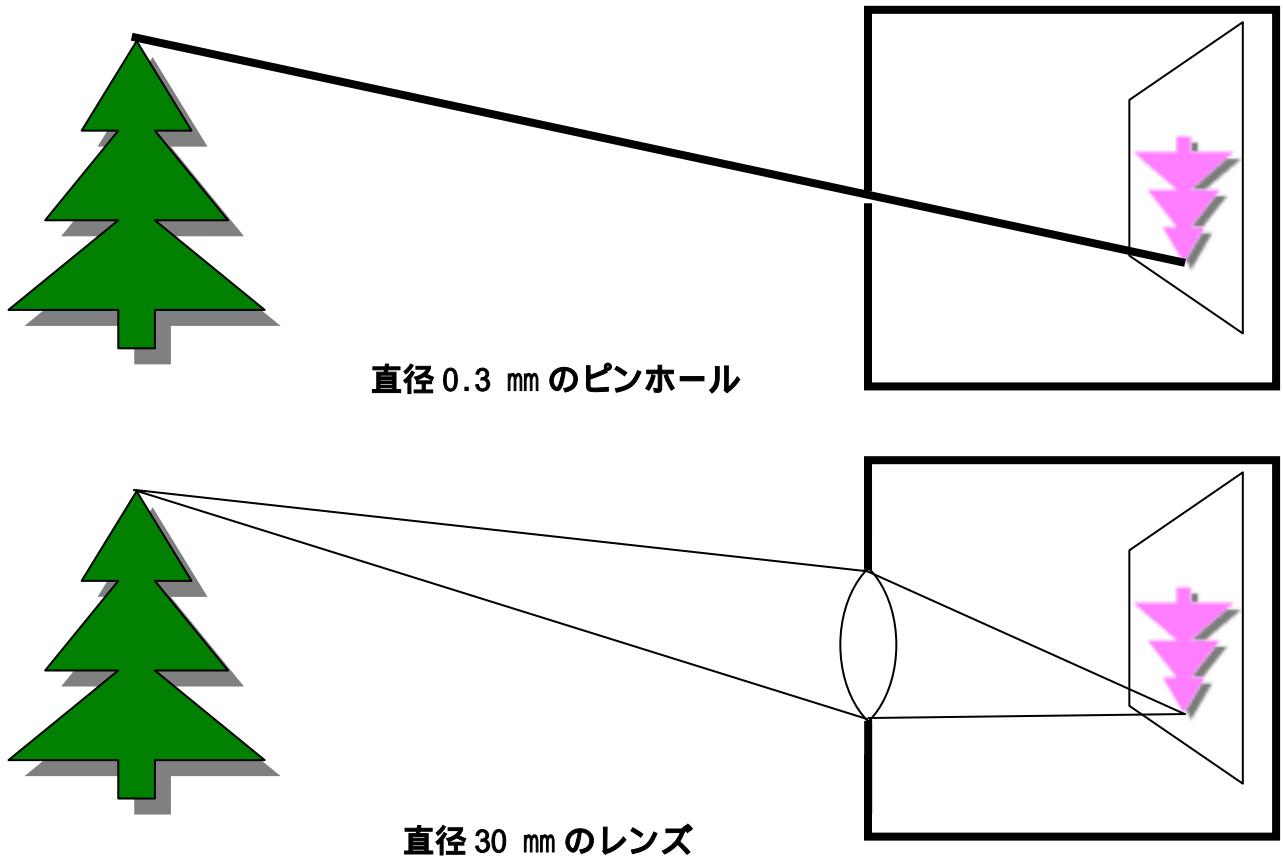


2-3. ピンホールってなに？

ことばのとおり、針であけたような小さな穴を言います。焦点距離にもよりますが、通常は直径約 0.3 mm 程度のピンホールを使います。

2-4 . 普通のカメラにはなぜレンズが必要な の？

ピンホールカメラと普通のカメラの違いを考えてみましょう。



上の例に示したピンホールとレンズでは直径で約 100 倍、穴の大きさ（面積）だと約 10000 倍違います。カメラに光を取り入れる穴が大きければ、短い時間で撮影に必要な光量を得ることが出来ます。実際の撮影においては、普通のカメラでは解像度を上げるため絞りを小さくして撮影しますので、撮影時間は 500 ~ 2000 倍の差となります。

ピンホールカメラ

- ピンホール 約 0.3 mm . . . 長時間撮影（1 秒 ~ 5 分程度）
- レンズを使わないので焦点がなく、ピンホール（約 0.3 mm）より細かくは写らないものの被写体すべてに一様の解像度がある。
- 広角になるほど、周辺の光量が極端に落ち込む。

普通のカメラ

- カメラの開口部：レンズ 約 5 ~ 30 mm . . . 瞬間を撮影（1/2000 ~ 1/100 秒）
- レンズの焦点が合っているところは解像度が高いが、ピントが外れているところは極端に低い（ボケ）。
- レンズ自体が周辺光量の低下があまりないように設計されている。

2-5 . 解像度は上げられないの？

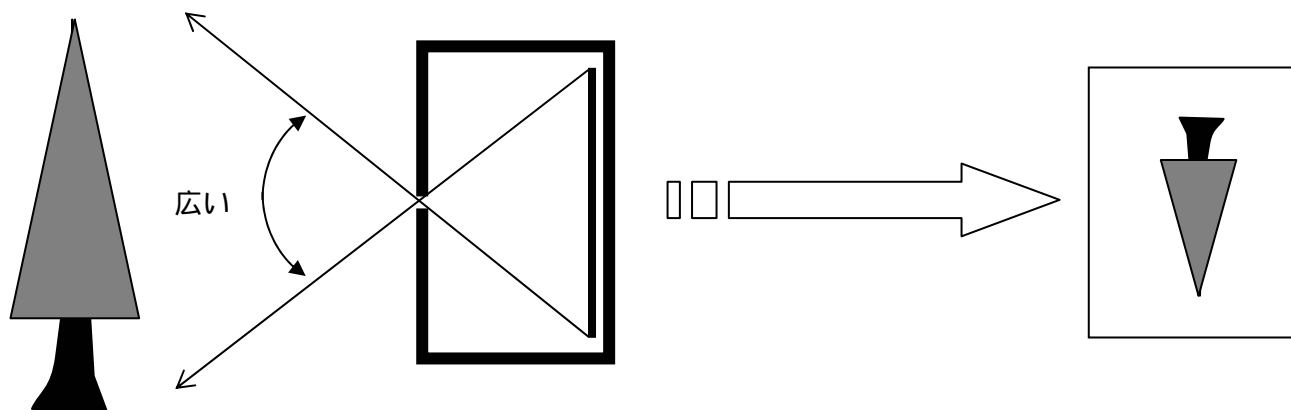
ピンホールを小さくするほど鮮明な画像になりそうですが、実はそうではありません。光の特徴の一つに回折現象というのがあり、穴を小さくしすぎるとこの影響が大きくなって、かえって解像度を下げる結果となってしまいます。

解像度を上げるためには、感光媒体である印画紙やフィルムの大きいものを選ぶと、より鮮明な画像を得ることができます。また、感光媒体の性質として、印画紙と比べてフィルムの方が階調がなめらかになります。

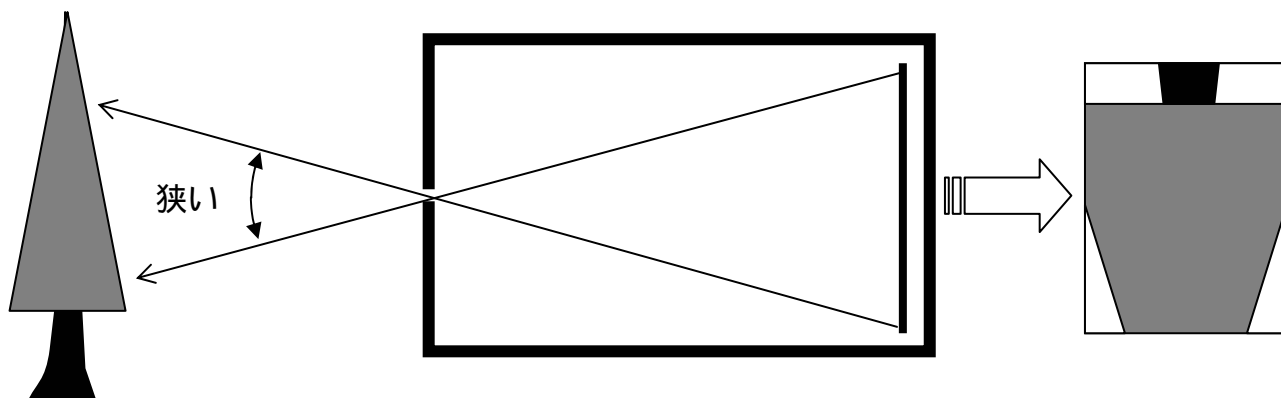
2-6 . 焦点距離と画角の関係は？

ピンホールカメラでは、印画紙からピンホールまでの距離を焦点距離としています。焦点距離が短ければ広角（広い範囲が写る）、長ければ標準または望遠（狭い範囲が写る）となります。

焦点距離が短いピンホールカメラ（広角）



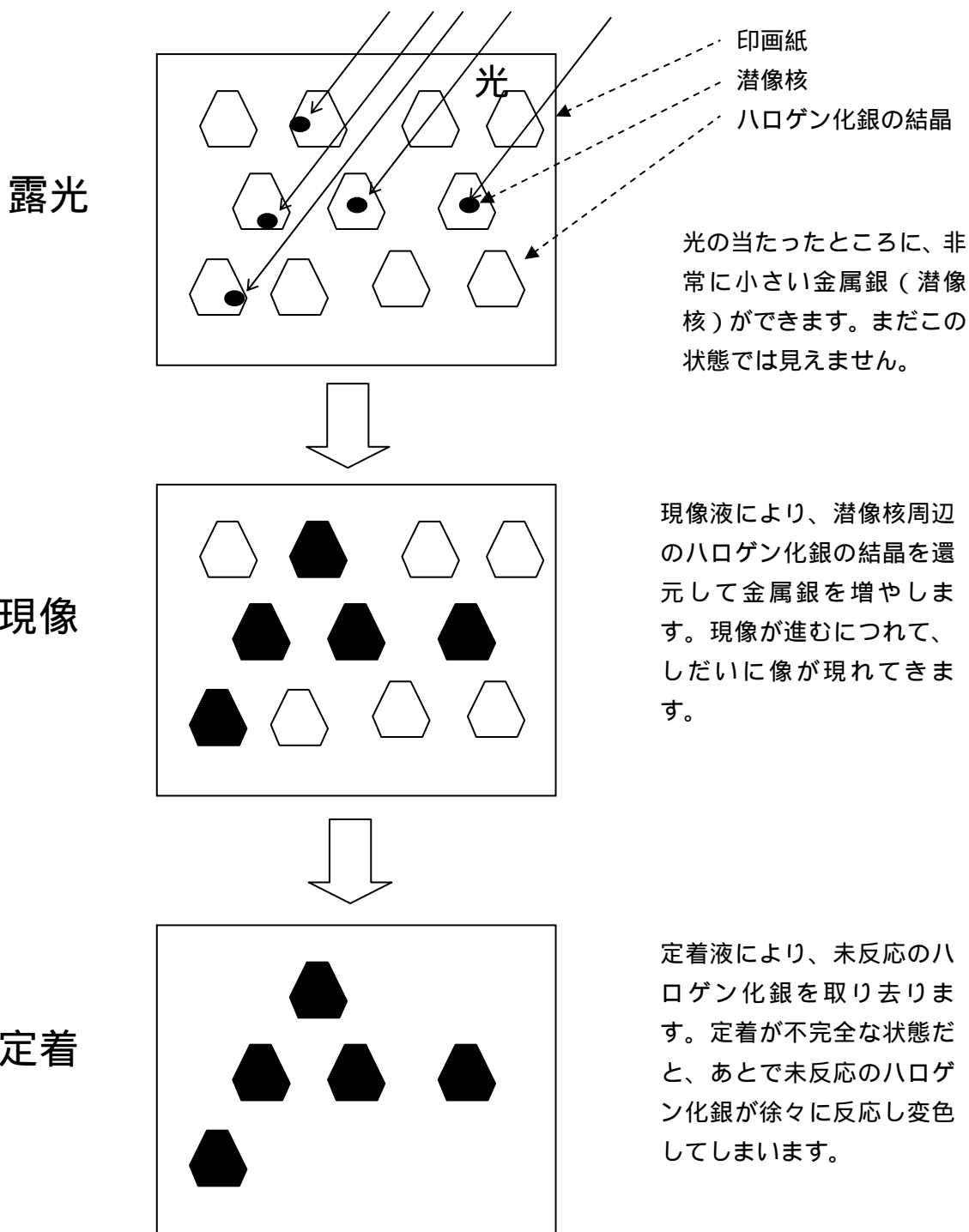
焦点距離が長いピンホールカメラ（標準・望遠）



3. 写真の原理

現像の仕組み

光に反応する物質として、ハロゲン化銀（特に臭化銀）を使用します。光があたるとハロゲン化銀の結晶の一部が反応し金属銀（潜像核）を生じます。これを現像液（還元剤）で処理することにより、潜像核（現像核）周辺のハロゲン化銀を還元します。停止液（うすい酢酸水溶液）により中和することにより現像を停止します。定着液は未反応のハロゲン化銀を溶解し取り除きます。



4. ピンホールの作製

4-1. ピンホールの最適孔径

ピンホール写真の解像度を上げるためには、ピンホールを通過した光の直進性により像が描かれるのだからピンホールを小さくすればするほど像の解像度は上がるような気がする。しかし、光にはさまざまな性質がありそう簡単にはいきません。光の性質としてよく知られているものとして「反射」「屈折」が挙げられますが、そのほかにも「回折」「干渉」「偏光」などがあります。

ピンホールで問題になるのが「回折」です。これは、光の波動的な性質で、光がさえぎられた端で回り込むように広がる現象をいいます。ですから、スリット（狭い隙間）やピンホールを通過した光の端では直進するのではなく広がってしまうのです。

このことについて、牧野正恭氏（兵庫県立猪名川高等学校）が共立社「科学の実験 1976 年 5 月～6 月号」に「ピンホールカメラの最適孔径」と題してピンホールの大きさについて掲載しています。それによると、ピンホールカメラの最適孔径は次式により求めることができると解説しています。

$$d = \sqrt{2f\lambda}$$

d : ピンホール直径 λ : 光の波長
f : 焦点距離

この式に焦点距離と光の波長を代入すれば、最適なピンホール径を求めることが出来るのですが、問題が 1 つあります。光の波長（ ）に入れる数値をどのようにしたら良いかということです。太陽光の波長は 780～380nm ですから単純に平均すると 580nm となりますが、関係式から分かるように同じ焦点距離であれば波長が長くなるとピンホール最適孔径が大きくなることから、太陽光のように波長に幅がある場合、長波長の側に偏らせる必要があるのではないかと言うことです。

ピンホールカメラやピンホールを販売している「PINHOLE RESOURCE」というサイトに各焦点距離に合ったピンホールの孔径が記述されています。この孔径はどのように算出しているのかはわかりませんが、上記関係式に赤と緑の波長の平均値（λ=623nm）を代入したものとほぼ合致していました。このことにより、波長を 623nm として計算することにいたします。

PINHOLE RESOURCE （掲載値）				上式（λ=623nm）
焦点距離 [mm]	inch	換算	mm	最適孔径 [mm]
50	0.0102	→	0.250	0.250
75	0.0126	→	0.309	0.306
90	0.0138	→	0.338	0.335
:	:		:	:

上式の（光の波長）に 623nm を用いた場合、商店距離と最適孔径の関係は下表のようになります。

焦点距離 [mm]	10	20	40	60	80	100	125	150	200
最適孔径 [mm]	0.11	0.16	0.22	0.27	0.32	0.35	0.40	0.43	0.50

4-2 . 周辺光量の低下

周辺光量の低下の原因には、次のことが考えられる。

1 . 入射光の形状

ピンホール（形状：円形）を通過した入射光は、中央部では円形をしているが、周辺になるに従い扁平し光量が低下する。

2 . 焦点距離（ピンホールと感光媒体との距離）

感光媒体（印画紙・フィルム）が平面の場合、周囲の方がピンホールからの距離が長くなるため光量が低下する。

3 . ピンホール素材の厚み

ピンホールを作製する素材が厚いと入射光の一部がカットされ光量が低下する。

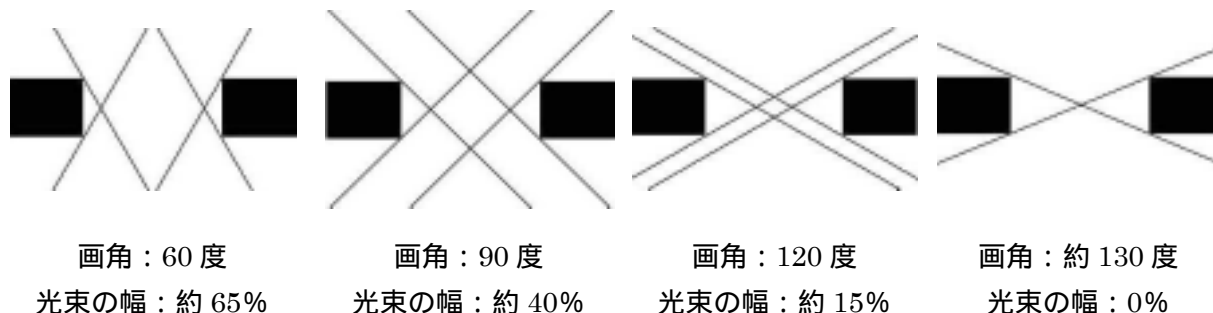
使用機材

4×5 インチカットフィルム、焦点距離 50mm、ピンホール直径 0.24mm、画角 114 度（対角線）

ピンホール（銅箔）：0.01mm、0.05mm、0.10mm



入射角度による光量の低下



参考文献

東京法令出版株式会社 「話題源 物理」 編集代表 伊平保夫
「PINHOLE RESOURCE」(<http://www.pinholeresource.com/>)

4-3 . ピンホールを作製する方法

よく使われるピンホールの素材としては、次のものが挙げられます

身近にある素材 アルミ缶（約 0.15mm） アルミ箔（0.012～0.015mm：製品に表示）

市販されている素材 銅箔・真鍮箔（0.01、0.03、0.05、0.08、0.10mm）

	<p>5×5cm 位の銅箔（またはアルミ箔）を用意します。</p> <p>軽く針を刺し、穴を開けます。</p>		<p>裏返して、出たバリを爪等でつぶします。</p>
	<p>人差し指の第一関節に親指を当てるようにして銅箔をはさみます。</p> <p>必ず片手で銅箔の隅を持ちます。このように持つと、針を刺したときに多少力が入っても銅箔がしなり、不用意に穴を大きくしてしまうことを防ぐことができます。</p>		
	<p>両手を密着させるようにして手のブレを防ぎます。</p> <p>両手は作業台（机）等に置き、動かないようにした方が安定して作業できます。</p> <p>銅箔を持った手と針を持った手が離れているとちょっとした動きでピンホールがダメになってしまうことがあります。</p>		
	<p>針先をピンホールに入れたら、針を回しピンホールの形を整えます。</p> <p>穴が小さい場合は少し力を入れ、針を回しながら大きくしていきます。</p>		
	<p>ある程度の穴が開いたら、ピンホール周辺のバリを紙やすり（2000 番）で削り取ります。</p> <p>銅箔を紙等の上でピンと張った状態で押さえ、紙やすりの端を使い削ります。バリがあるときには多少の引っかかりがありますので、それがなくなるまで削りません。</p> <p>片面が終わったら、裏返して同様にバリを削ります。</p>		
	<p>倍率 15 倍以上のルーペで大きさ・形を確認しながら、ピンホールを仕上げしていきます。</p> <p>穴の大きさは、下の目盛付スライドグラスとルーペを使って測ります。</p>		

4-4 . ピンホール作製の材料と道具

銅箔 0.01mm

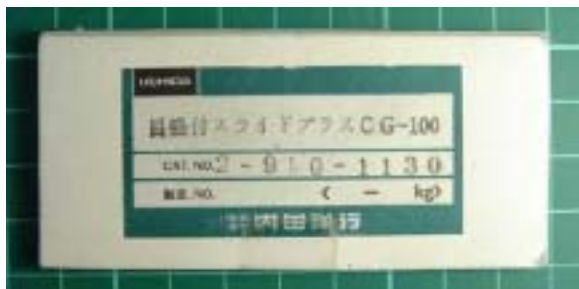


銅箔の場合は、アルミ箔より硬いのでつぶしたバリをサンドペーパー（2000番）で削り落とすことが可能です。

この銅箔は、千葉ニュータウンにあるジョイフル本田（ジョイフル2）で購入しました。池袋の東急ハンズでも売られています。

目盛付スライドグラス

スライドグラスの中央に0.1mm方眼が印刷されている。15倍ルーペを使えば、目盛の1/10(0.01mm)まで目測で測定できる。



ルーペ（15倍以上の倍率があると見やすくなります）



ミニ顕微鏡（10倍）



ルーペ（15倍）



ルーペ（30倍）焦点調節付

ライトボックス（あると作業しやすくなります）

