



レーヴェンフック式 スマホ86顕微鏡

光学約86倍!

この解説書は読まなくてよい冊子です。
まず先に「使い方」をご一読下さい。

別冊

この解説書は少し難しくなっています。
難しい!!...と思った方は
この冊子をそっと閉じて下さい。

読まなくても「スマホ86顕微鏡リング」を
十分に楽しむことができます。

スマホ86顕微鏡
公式サイト
TOCOL®



球面収差(レンズの弱点)

レンズの周辺を通る光と中心を通る光では焦点や結像点の位置が前後にズレます。この収差を「球面収差(きゅうめんしゅうさ)」と呼びます。一つのレンズで高倍率が得られるボールレンズは光ファイバへの集光にも利用されますが、顕微鏡に使用すると球面収差によって像の一部がボケます(図-1)。

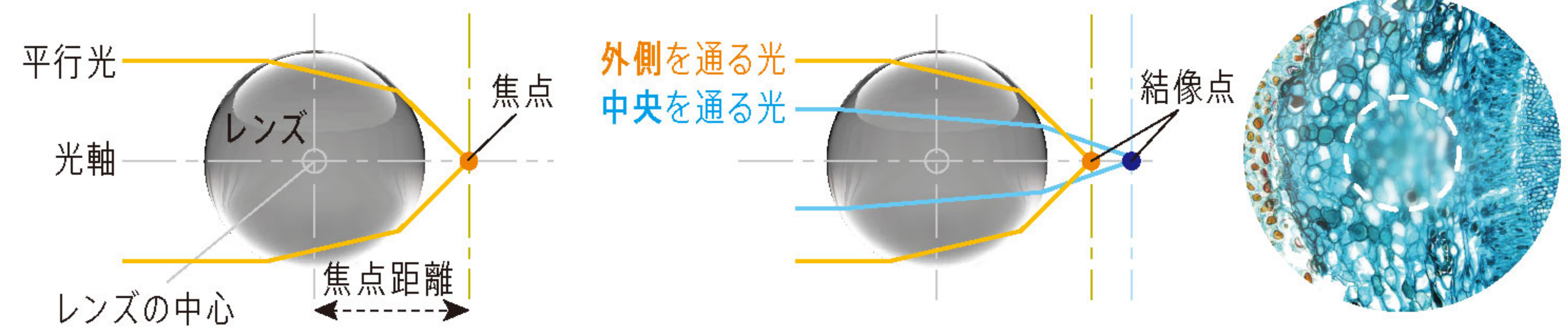


図-1

※「焦点」と「結像点」については裏面の「焦点と結像点」を参照下さい。

[Tips① - 弱点を活かす]

球面収差を活かす

「球面収差」が大きいボールレンズの特性を活かすことで、通常の顕微鏡ではピント合わせが困難な厚みのある観察対象(ミジンコなど)を生きたまま観察することができます(図-2)。
また、ピントAの位置に観察対象を置くことで周辺がボケ、画像から観察対象が浮かび上がり、芸術的なメッセージを伝える画像になります(図-3)。



図-2

図-3

[Tips② - 弱点を克服する]

絞りで収差を軽減する

●焦点深度と被写界深度

カメラで写真を撮るとシャープに見える部分と、その前後でボケて見える部分ができることがあります。このシャープに見える部分がピントの合っている位置です。理論上、ピントの合う位置は一点のはずですが、人の眼はその前後にもピントが合っているように見えます。
このピントが合っていると感じる範囲のことを「被写界深度(ひしゃかいしんど)」、被写界深度に対応する反対側の像面の結像範囲を「焦点深度(しょうてんしんど)」と呼びます(図4)。

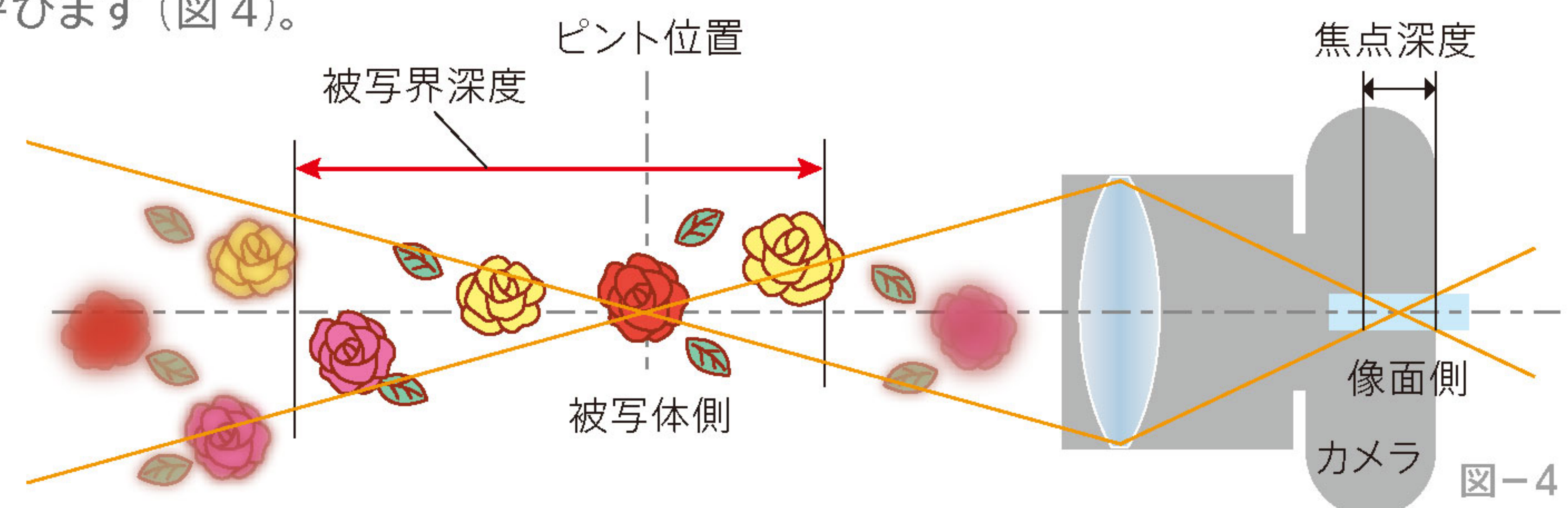
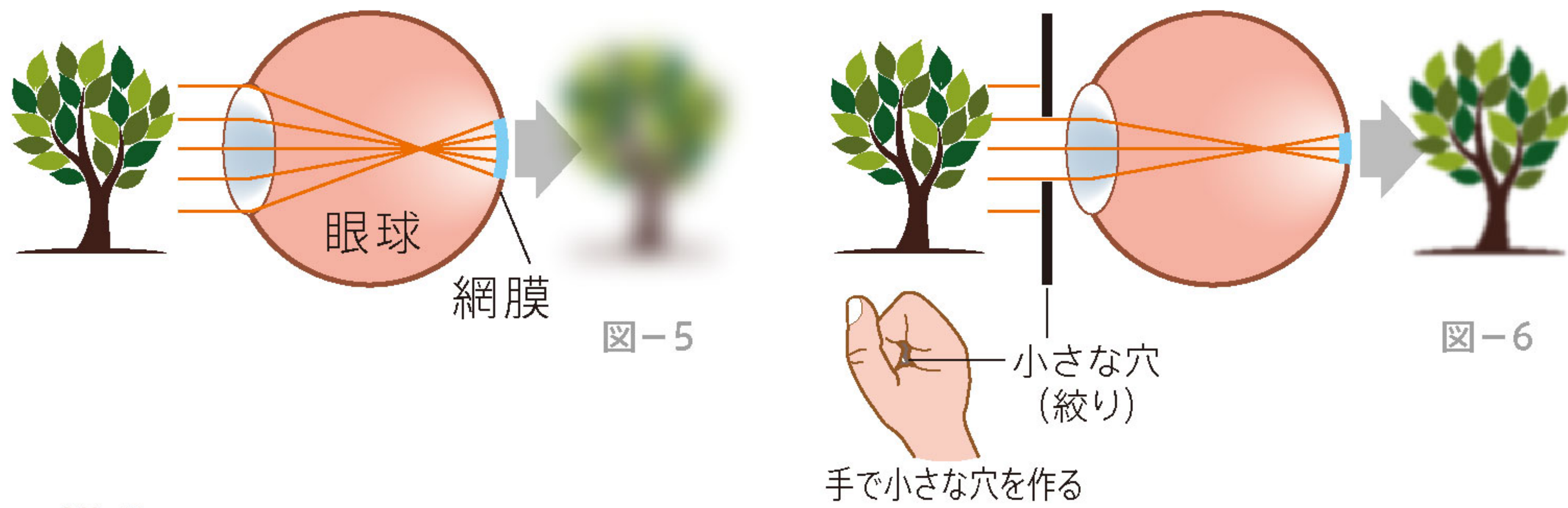


図-4

被写界深度は、人間の目でも確かめることができます。視力の弱い人がメガネをかけずに物を見たい場合、指でなるべく小さな穴を作り、その穴から覗くと物がなんとか見えるようになっていきます。

図-5は、近視の屈折の状態です。何もしない状態で網膜に映った像のボケの大きさと、目の前に小さな穴（絞り）を置いた場合の網膜に映る像のボケの大きさを比べると、絞りを置いた方がボケが小さくなっています（図-6）。

つまり、小さくなっている＝ボケ具合が減少しているということになります。



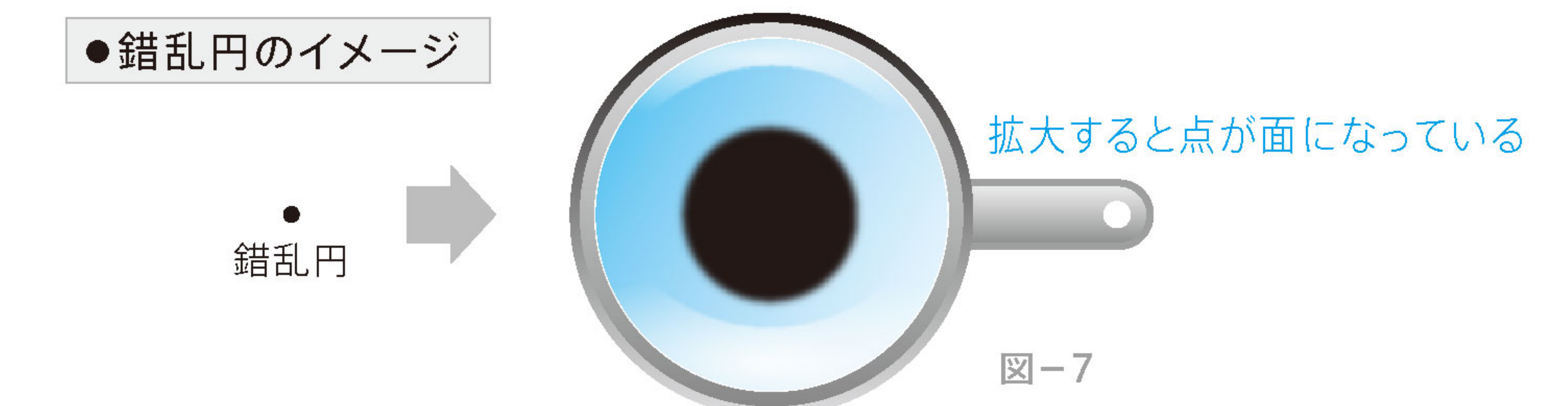
● 錯乱円

なぜ、ピントの合う位置は理論上1点のはずなのに人の目はその前後にもピントが合っているように見えるのでしょうか。

レンズには、理論上、光が1点に集まる理想的な結像と、実際に光がレンズを通った場合にレンズの収差の影響で生じるボケた結像とのズレがあります（図-1）。この結像がボケた状態というのは面積を伴った「円」ということになります。つまり、像は円が集合してできているということです。

※点が集まって真っ直ぐ並べば直線（長さ）になり、直線を並べれば面（面積）になり、面を積み重ねれば立体（体積）になります。
 点の個数と長さや面積や体積には関係がありません。長さや面積や体積は、点の広がりを表します。

この円のことを「錯乱円」といいます。錯乱とは「入り混じって、混乱した状態」のことで、実際には円なのに点として見えてしまうということです（図-7）。



最も小さな錯乱円を「最小錯乱円」、画面上で「点」として許容できる最も大きな錯乱円のことを「許容錯乱円」と呼び、その径は「 ϵ （エプシロン）」で表します。

錯乱円が小さいほど、カメラレンズではピントが合っているように見えるということになります。

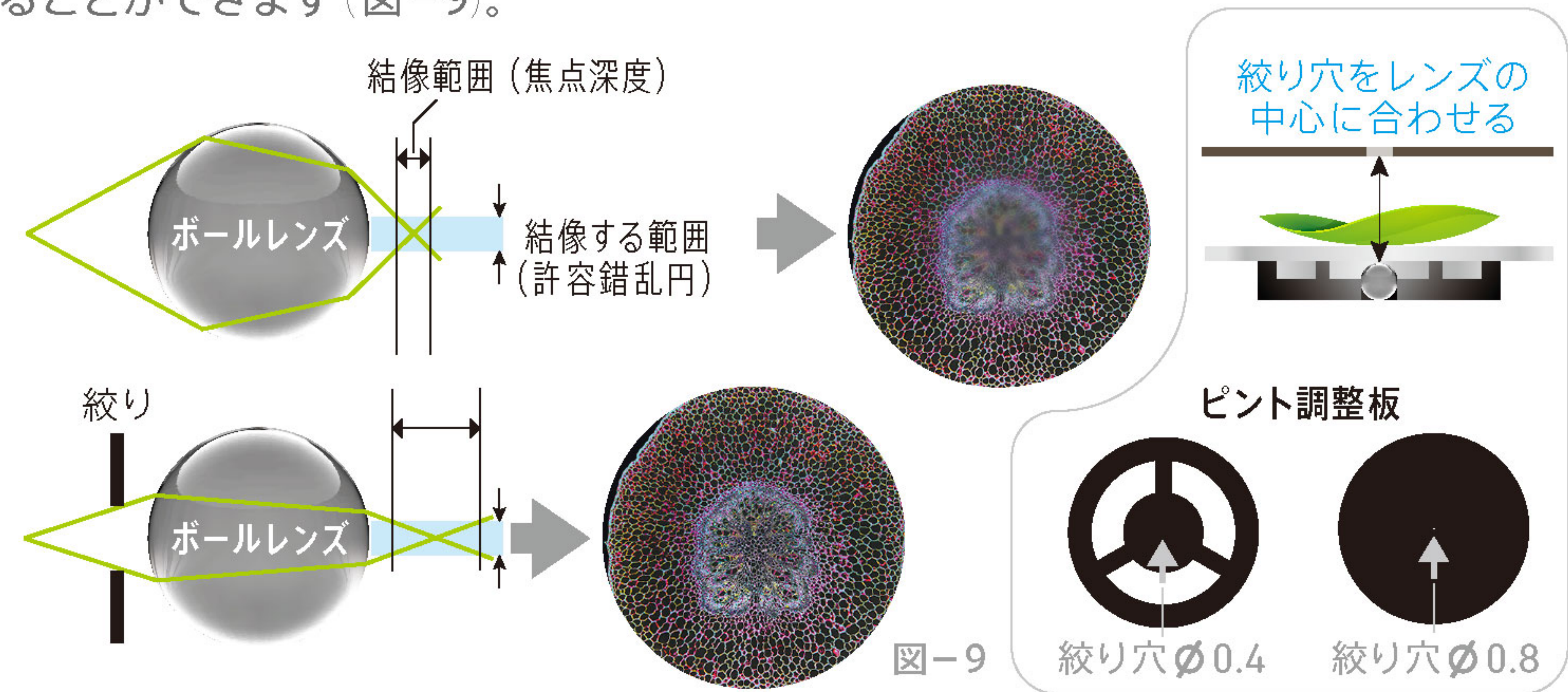
例えば、少しボケた像でも遠くから見たり、縮小したりすると目がボケを判断できずにピントが合っているように見える状態です（図-8）。



ボケた像を遠くから見た、または縮小したイメージ

図-8

簡単な構造で高倍率を得られるボールレンズはとても使いやすく、さまざまな分野で使われています。その利点を活かし、収差という欠点を克服する方法の一つとして絞りを使います。絞りによって、レンズ中心付近に光を通して収差を軽減することができます（図-9）。



※収差とは、レンズで発生するわずかな結像のズレのことで収差にはさまざまな種類があります。絞りによっていくつかの収差を軽減することができます。

● 絞りと被写界深度・焦点深度

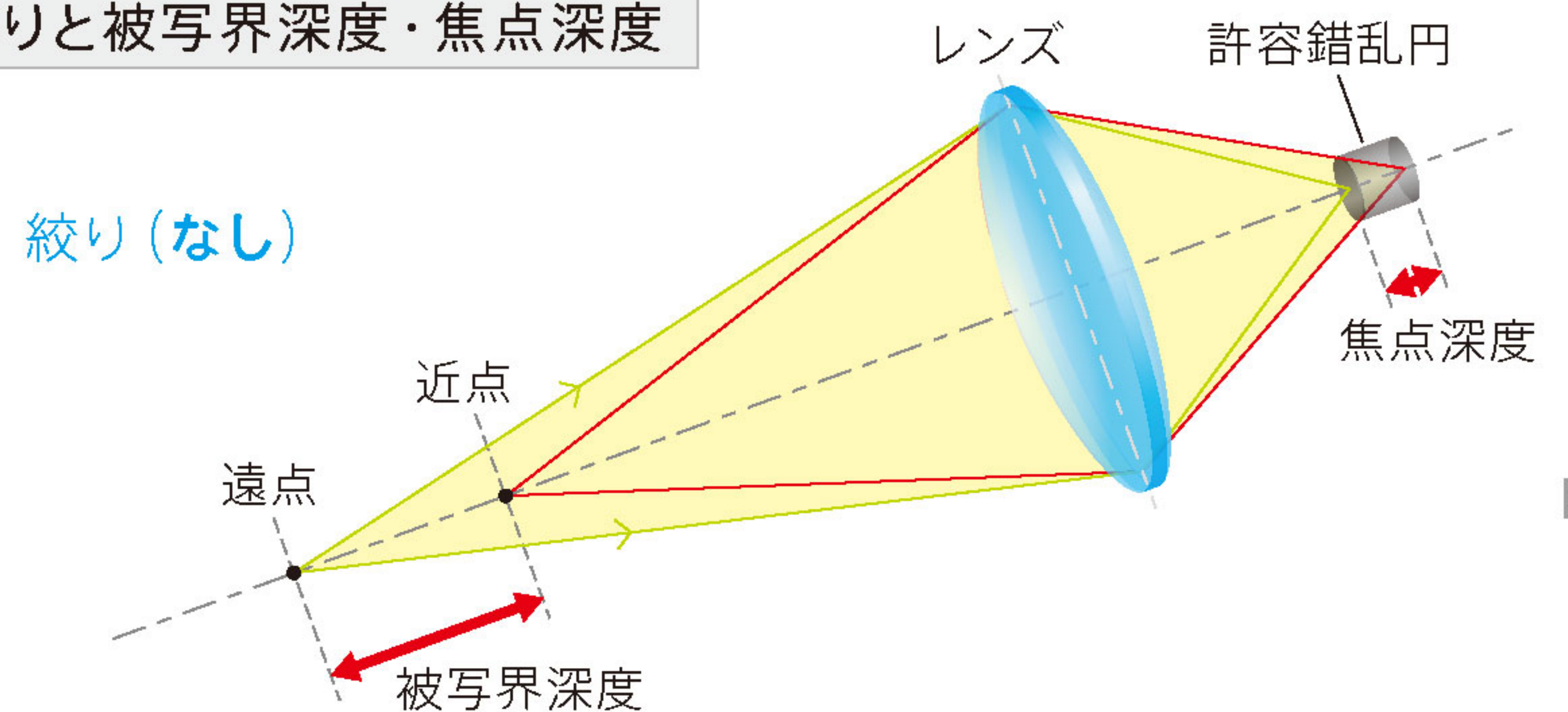


図-10

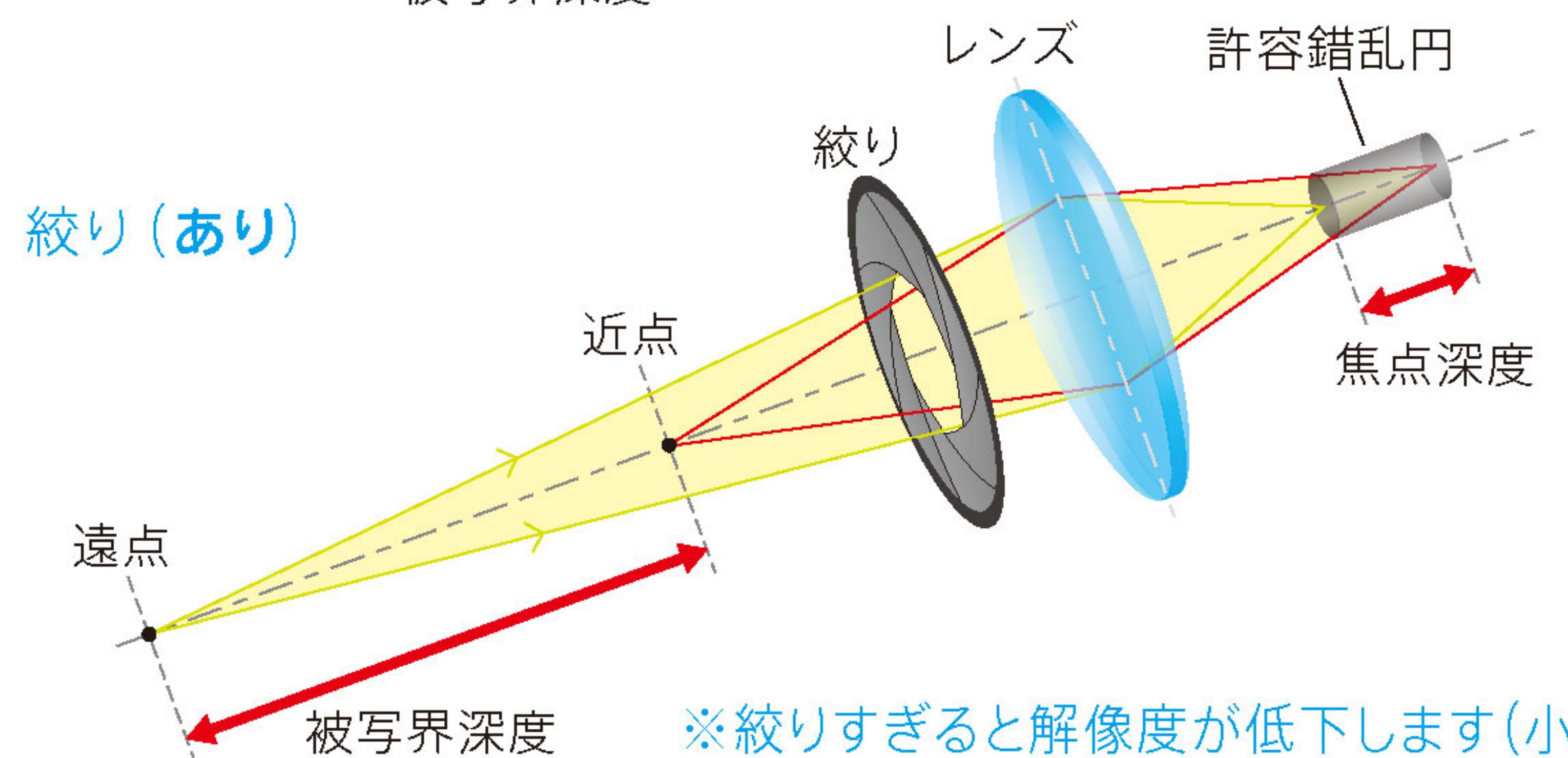


図-11

※絞りすぎると解像度が低下します（小絞りボケ）。

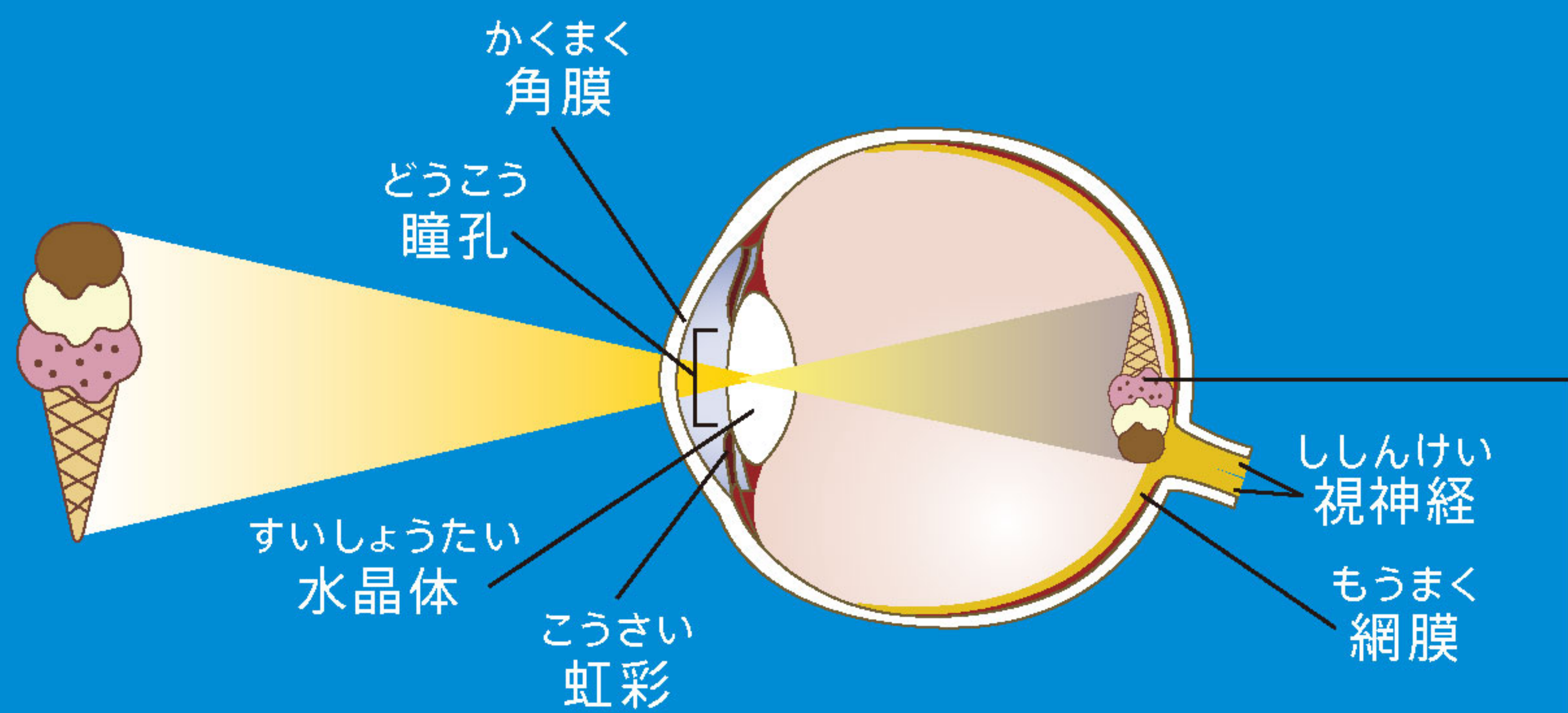
● 眼とレンズの役割

レンズを通して見えるものや、スクリーンなどに映って見えるものを像といいます。レンズの主な働きは、光を屈折させて、光を集めたり、広げたり、像を作ったりすることです。

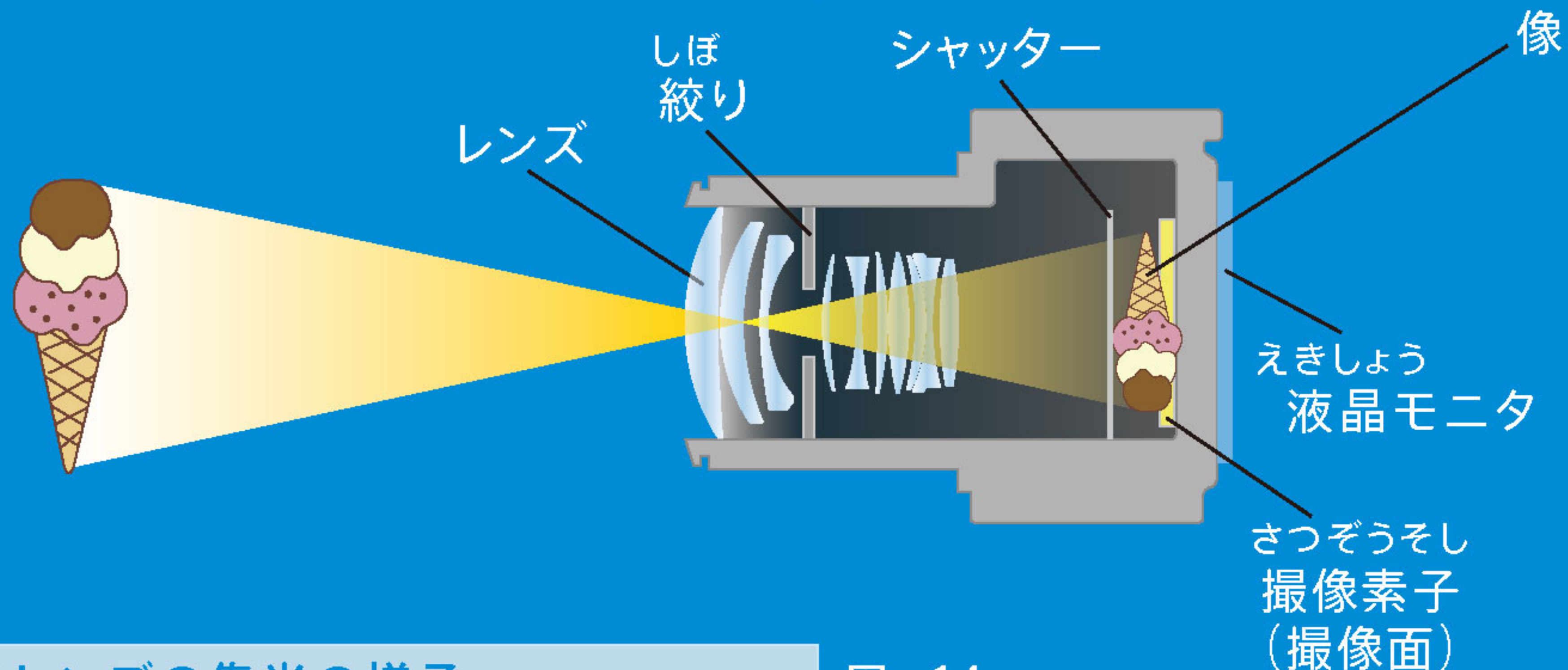
人間の眼の構造は、カメラとよく似ています。角膜や水晶体はレンズの役割を果たし、虹彩は絞りの働きに相当します。また、網膜内の視細胞は、カメラの撮像素子やフィルムなどの像を記憶する媒体（ばいたい）の役割を果たしているといえます（図-12、図-13）。

画像を撮像媒体に写し取るためには、対象の光を一点に収束させ、撮像面（像が映る面）上に「結像（物の像ができること）」するようにし、それ以外の光を排除する必要があります。このために使用されるのがレンズです。凸（とつ）レンズによる集光の概念は図-14のようになります。

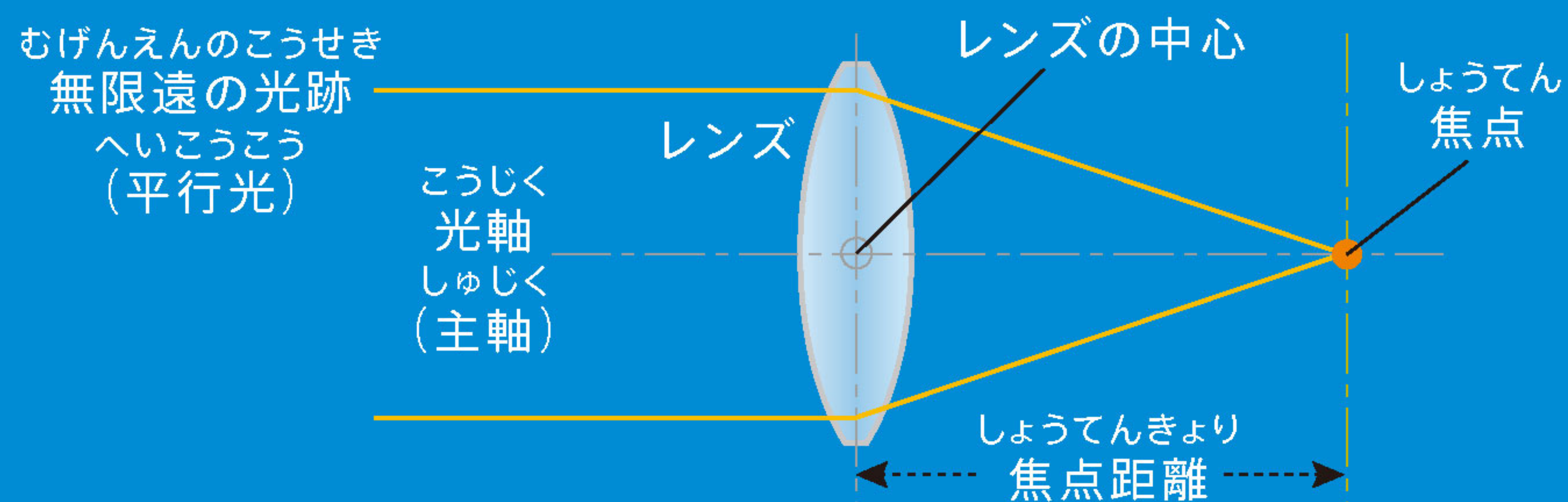
● 人間の眼球の水平断面と結像の様子 図-12



● デジタルカメラと結像の様子 図-13



● 凸レンズの集光の様子 図-14



● 焦点と結像点

焦点（しょうてん）とは太陽の光など、遠くからくる光（無限遠からくる平行な光）が、光軸（こうじく）に対して平行に入り、その光が一点に集まる点です。

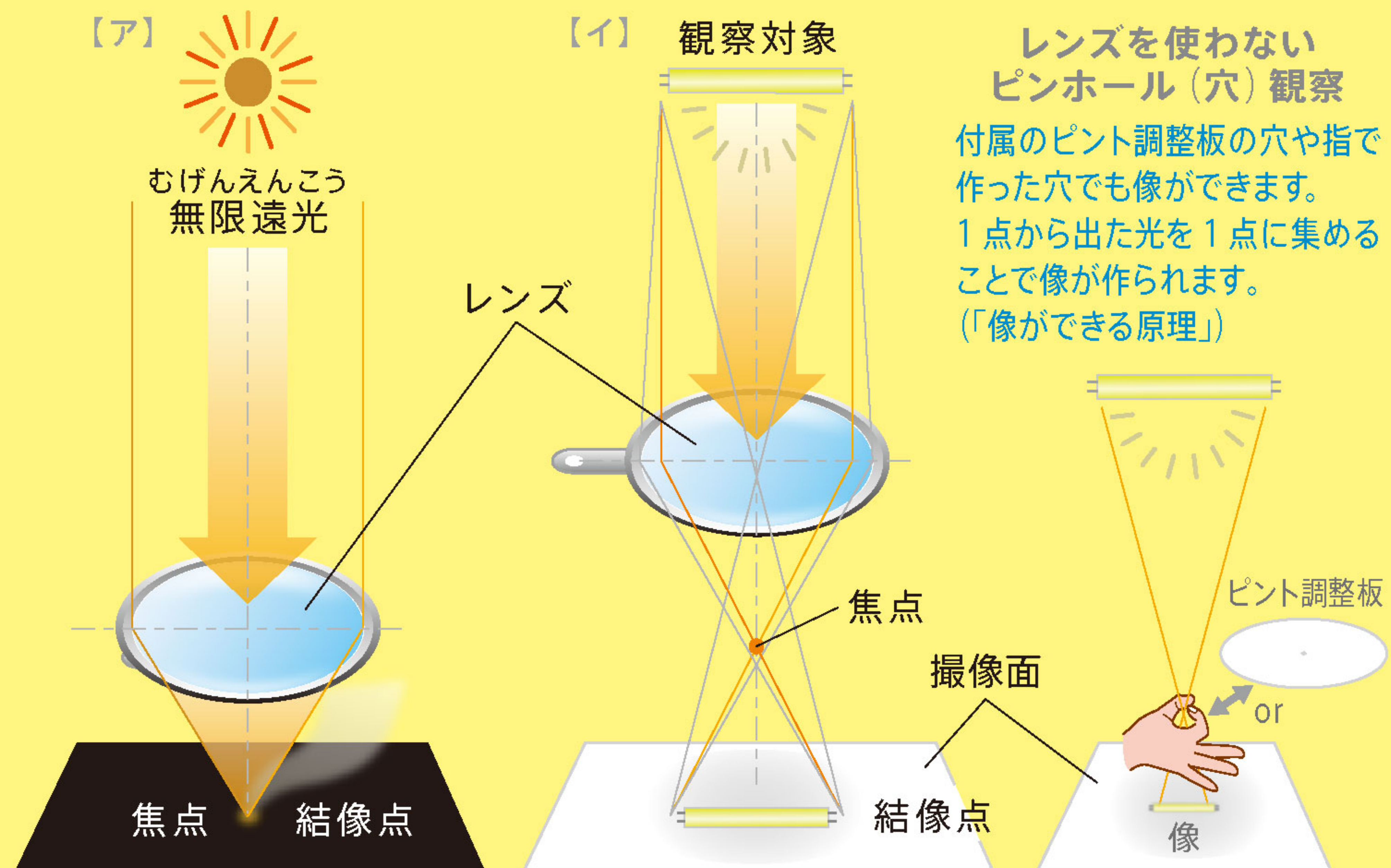
※光軸は、レンズの中心を通り、レンズ面に垂直な直線で主軸ともいいます（図-14）。虫メガネで太陽の光を一点に集めると、紙を焦がすことができます。虫メガネと紙の距離を遠ざけたり近づけたりした時、光が最も小さくなって紙を焦がす点が焦点です。

レンズの焦点距離（しょうてんきょり）とは、レンズの中心からこの焦点までの距離を指します。（図-14、図-15【ア】）。

また、蛍光灯などの明かりの近くに行くと、虫メガネをかざし上下させてみると、蛍光灯の像が机上や床などにはっきり映る点があります。このようにレンズの前に物を置いた時、反対側の物の像がはっきり映る位置を結像点（けつぞうてん）といいます（図-15【イ】）。カメラでピントを合わせる（像が鮮明に見える位置）というのは、この結像点と撮像面の位置を合わせることで、結像点は、物体からレンズまでの距離によって変わります。

逆にレンズの焦点は、実際の物体の位置には関係しませんので、移動しない点ということになります。無限遠の物を映すと焦点と結像点は一致しますが近くの物を映した場合は結像点移動します。

● 焦点と結像点の様子 図-15



焦点：平行光がレンズを通して集まる点（位置は固定）
結像点：レンズの前に物体を置いた時、その物体の像ができる点（位置が変化）

● レンズを通してできる像

像には、**実像**（じつぞう）と**虚像**（きょぞう）の2種類があります。右図①を見てください。

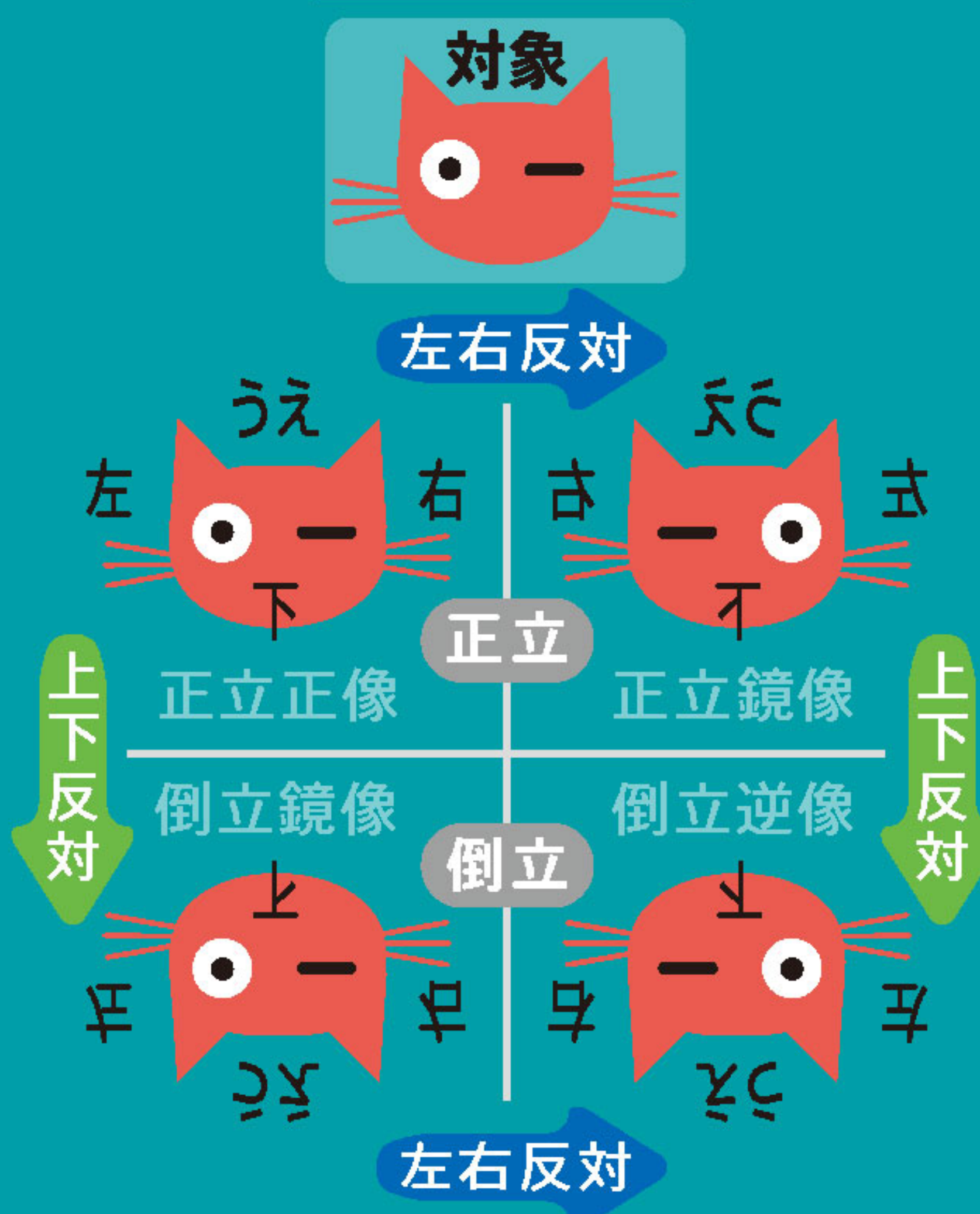
物体から散乱する光はいろいろな方向に進みます。凸レンズは、光軸に平行な光を焦点に集める特徴があり、焦点はレンズの左右両側に存在します。レンズに対して光が入る側を**物焦点**（前側焦点）、結像側を**像焦点**（後側焦点）といいます。物体、凸レンズ、スクリーンの位置を調整すると、スクリーン上には、実際に光が集まってできる像が映りこむので、このような像を「**実像**」といいます。この実像は上下左右が逆の**倒立逆像**になります（スクリーン側から見ると**倒立鏡像**）。

凸レンズがつくる実像の大きさは物体と物焦点の位置関係によって①～④のように変わります。凸レンズもスクリーンも取り払って物体を見ても、私たちは物体を鮮明に見ることができます。これは、目の角膜・水晶体が凸レンズ、網膜がスクリーン（撮像面）と同じ働きをしているからです（図-12、図-13）。「網膜に映っているのは倒立逆像だから逆さまに見えるじゃないか」と思う人もいるかもしれませんが、これは脳の働きによって、逆さまを正常だと慣らされているからです。右図①を見てください。物体が物焦点よりも、レンズに近い側に存在するとき、スクリーン上には、像が映りこみません。スクリーン側からレンズをのぞき込むと、像が存在しているかのように見えるのです。虫メガネで物体を見ている人だけがみることのできるこの像を「**虚像**（きょぞう）」といいます。虚像は、実際の物体よりも大きく見えます。

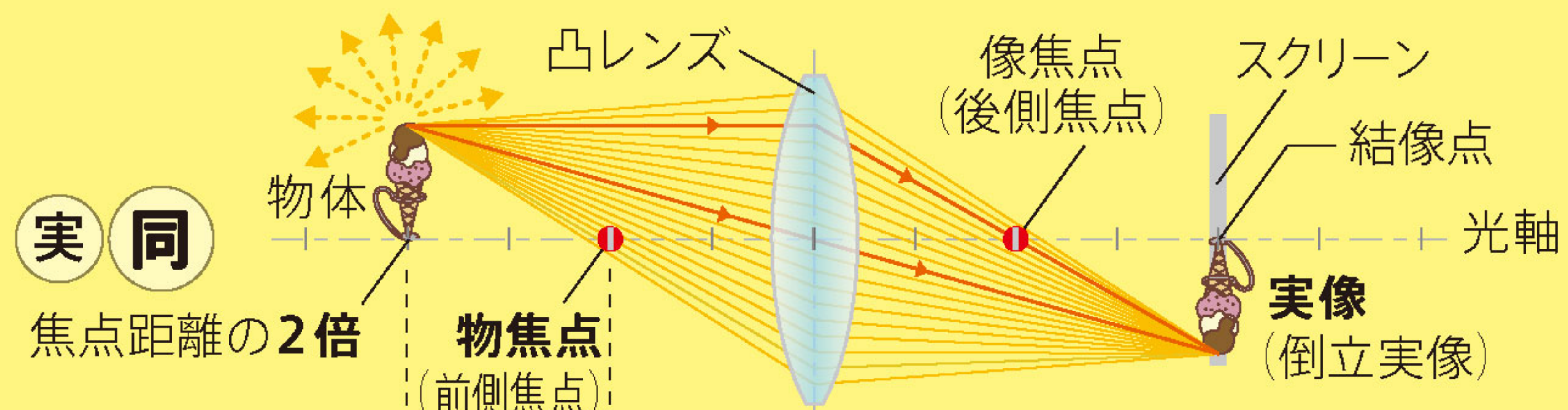
凹（おう）**レンズ**には光を広げる役割があります（図-17）。そのため焦点がないように思われますが、広がった光と反対方向に逆延長する点と光軸との交点が凹レンズの**虚焦点**（後側焦点）となります。物体側（実際の物体の内側）に物体より小さな**虚像**ができます（図f）。

④（おう）**レンズ**には光を広げる役割があります（図-17）。そのため焦点がないように思われますが、広がった光と反対方向に逆延長する点と光軸との交点が凹レンズの**虚焦点**（後側焦点）となります。物体側（実際の物体の内側）に物体より小さな**虚像**ができます（図f）。

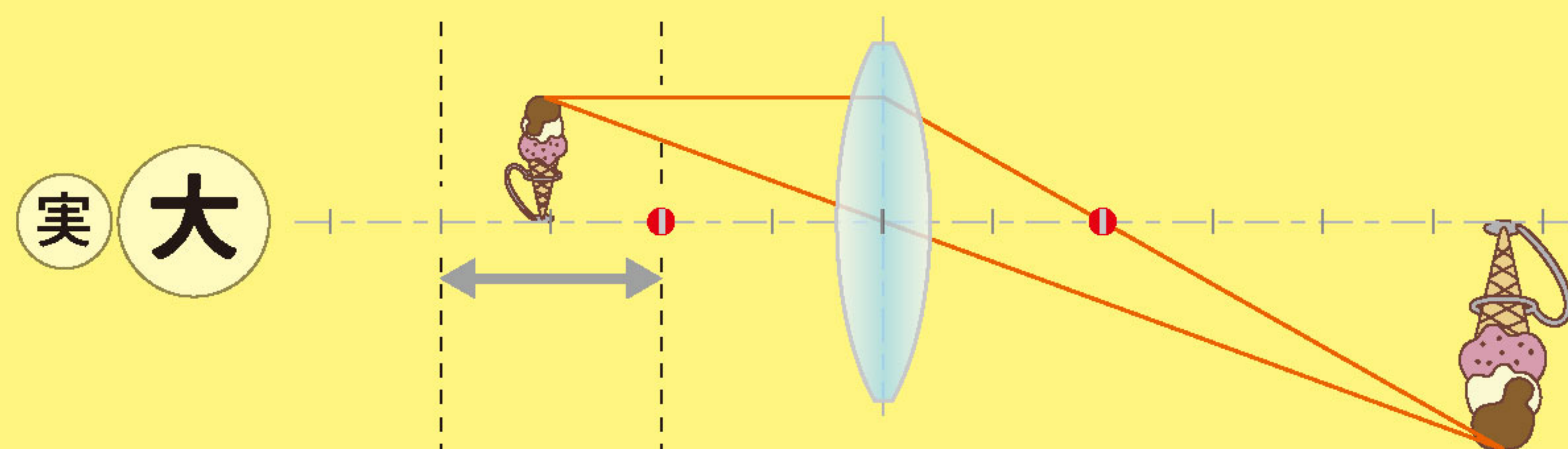
● 像の見え方 図-16



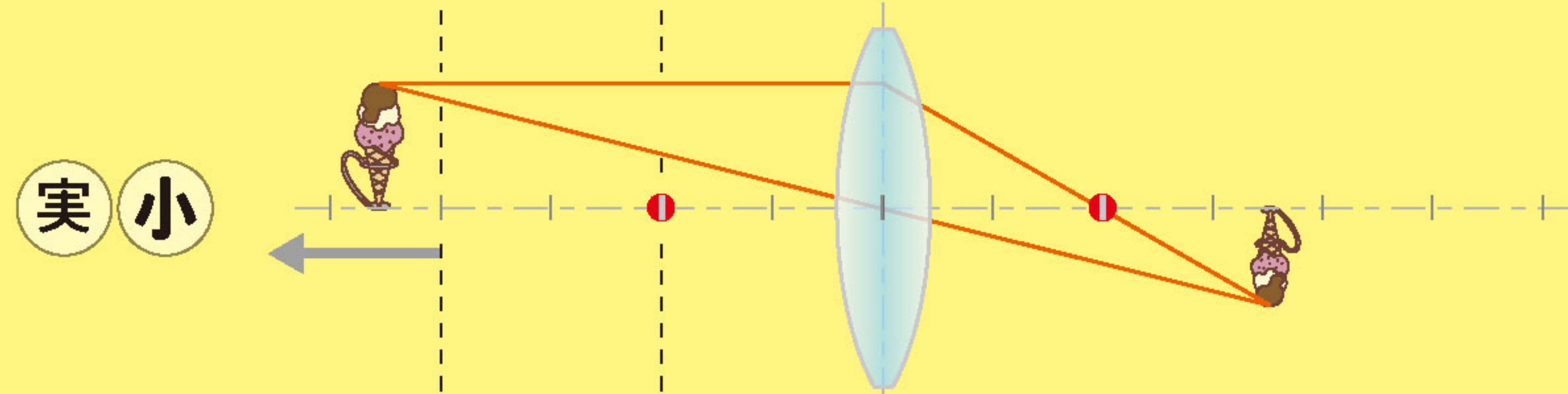
a 等倍（物体を物焦点の2倍の位置に置いたとき）



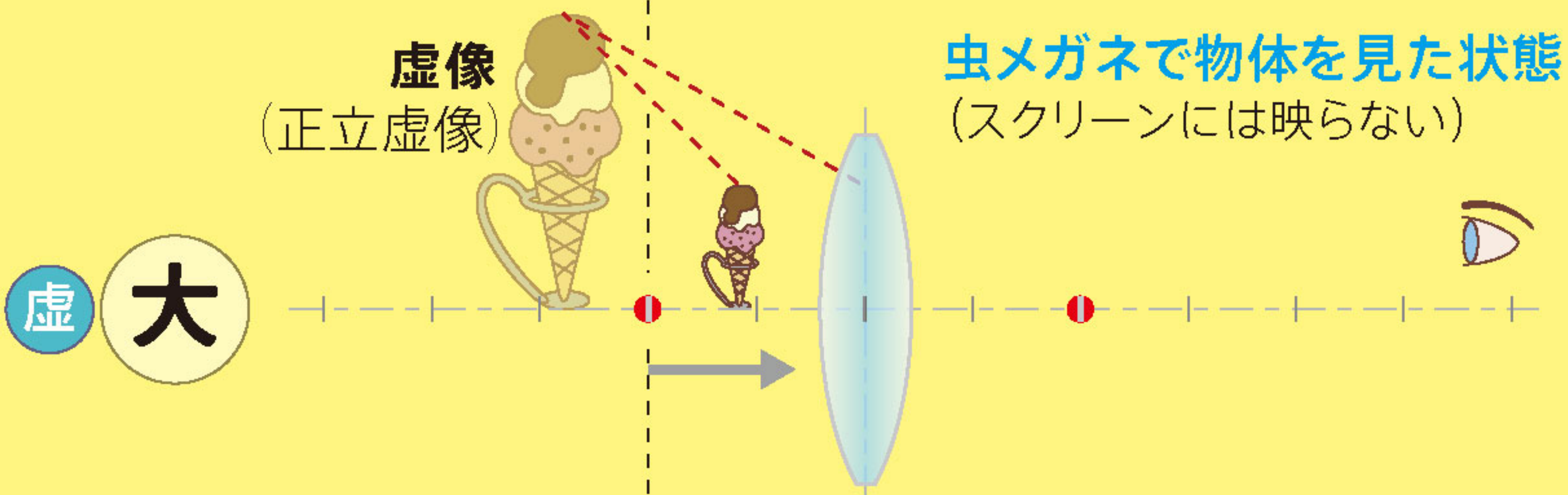
b 拡大（物体を物焦点の2倍より内側に置いたとき）



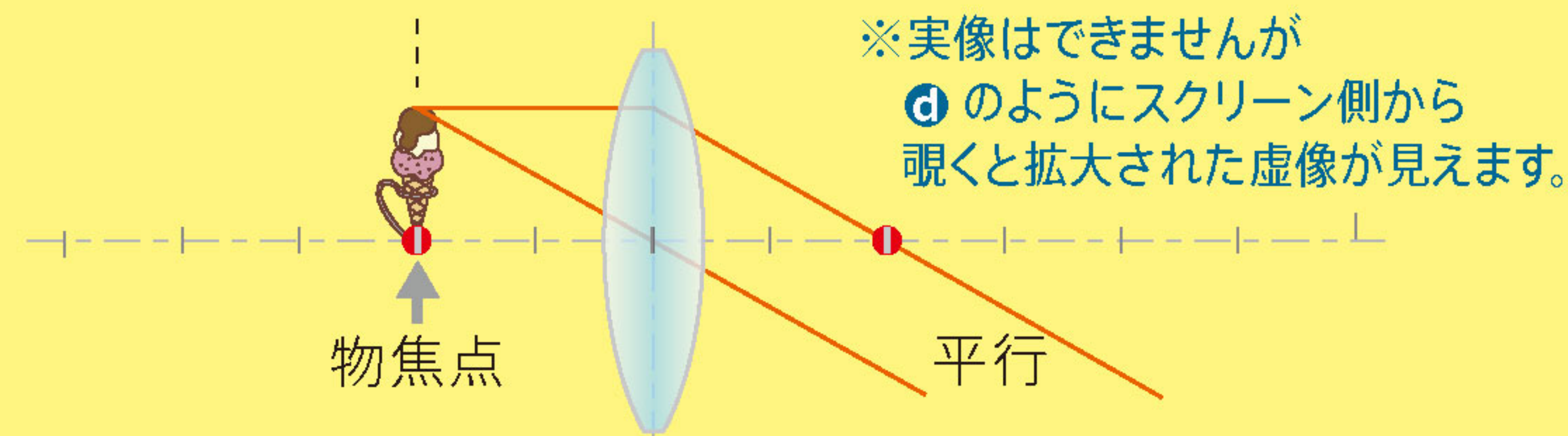
c 縮小（物体を物焦点の2倍より外側に置いたとき）



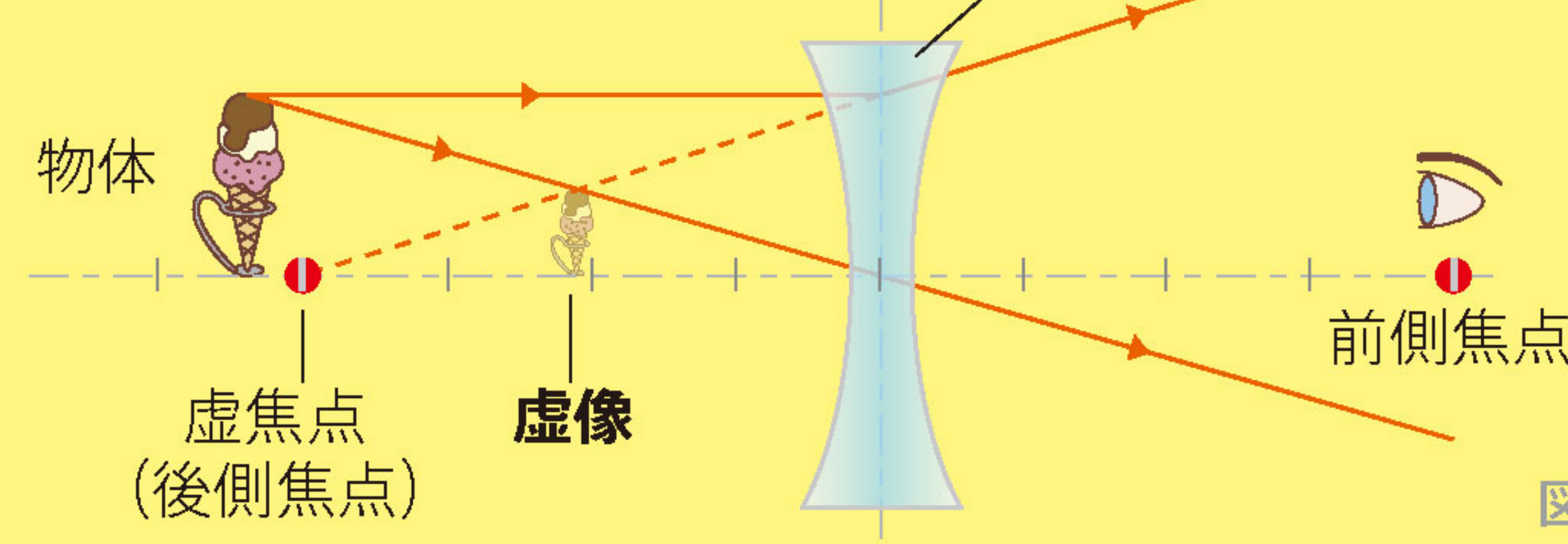
d 虚像（物体を物焦点の内側に置いたとき）



e 像（実像）はできない（物体を物焦点に置いたとき）



f 虚像（凹レンズの像の現れ方）



● 凸・凹レンズの役割とレンズを通して見た像（虚像） 図-17

