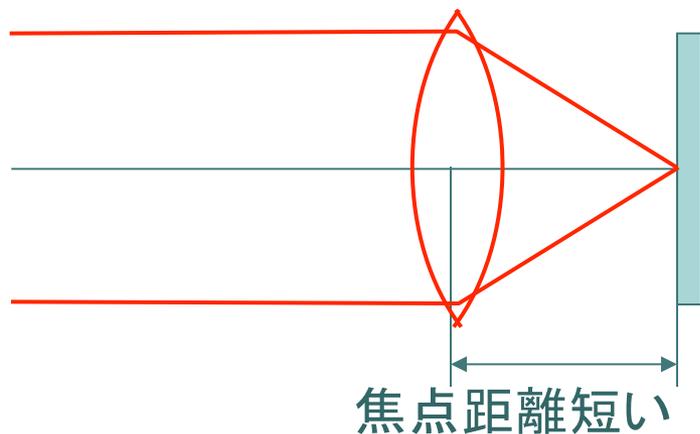
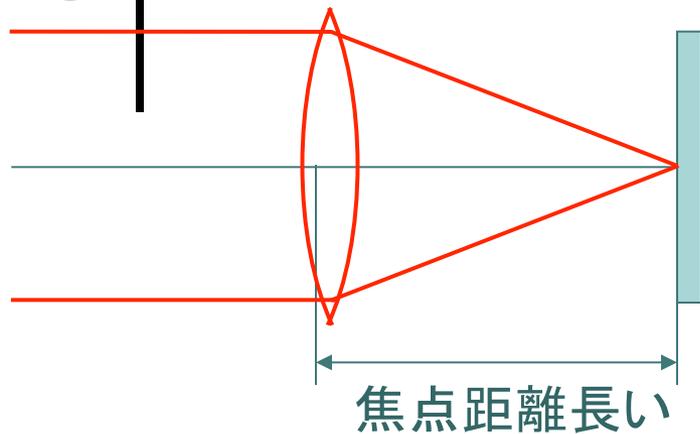




画像情報処理

レンズの基礎

焦点距離とは



写る範囲
が狭い

写る範囲
が広い

遠くのもの
が大きく写る

遠くのもの
が小さく写る

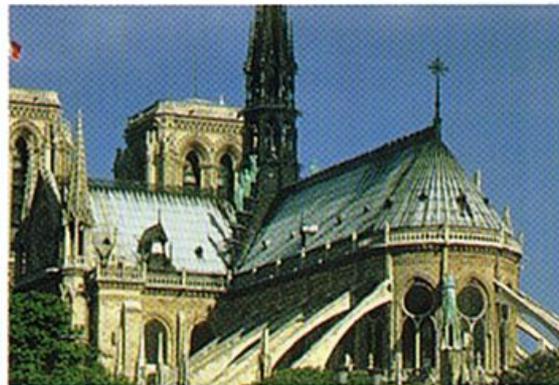
- 焦点距離は画角を決定する
 - 焦点距離と画面の大きさの関係で画角が決まる



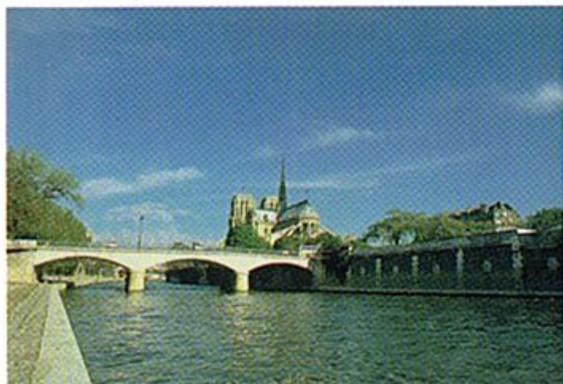
画角の 効果



16mm (魚眼)



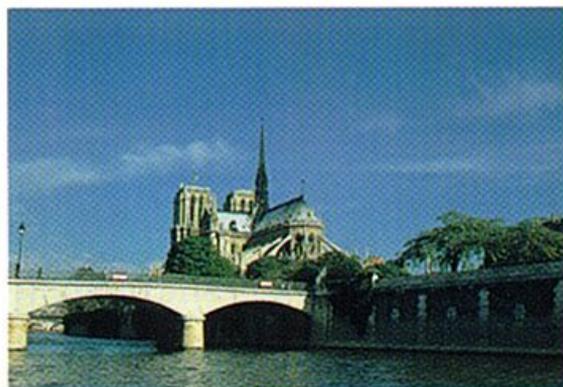
200mm



24mm



400mm

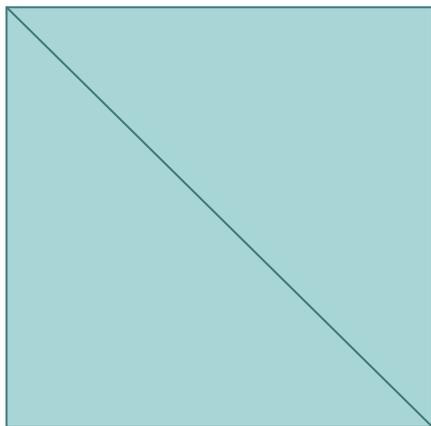


50mm

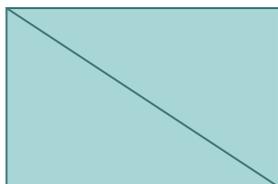


800mm

焦点距離と画角の関係(1)



中判カメラ(6×6判)
56mm x 56mm
対角線長さ 79.2mm



35mm カメラ(135判)
36mm x 24mm
対角線長さ 43.3mm

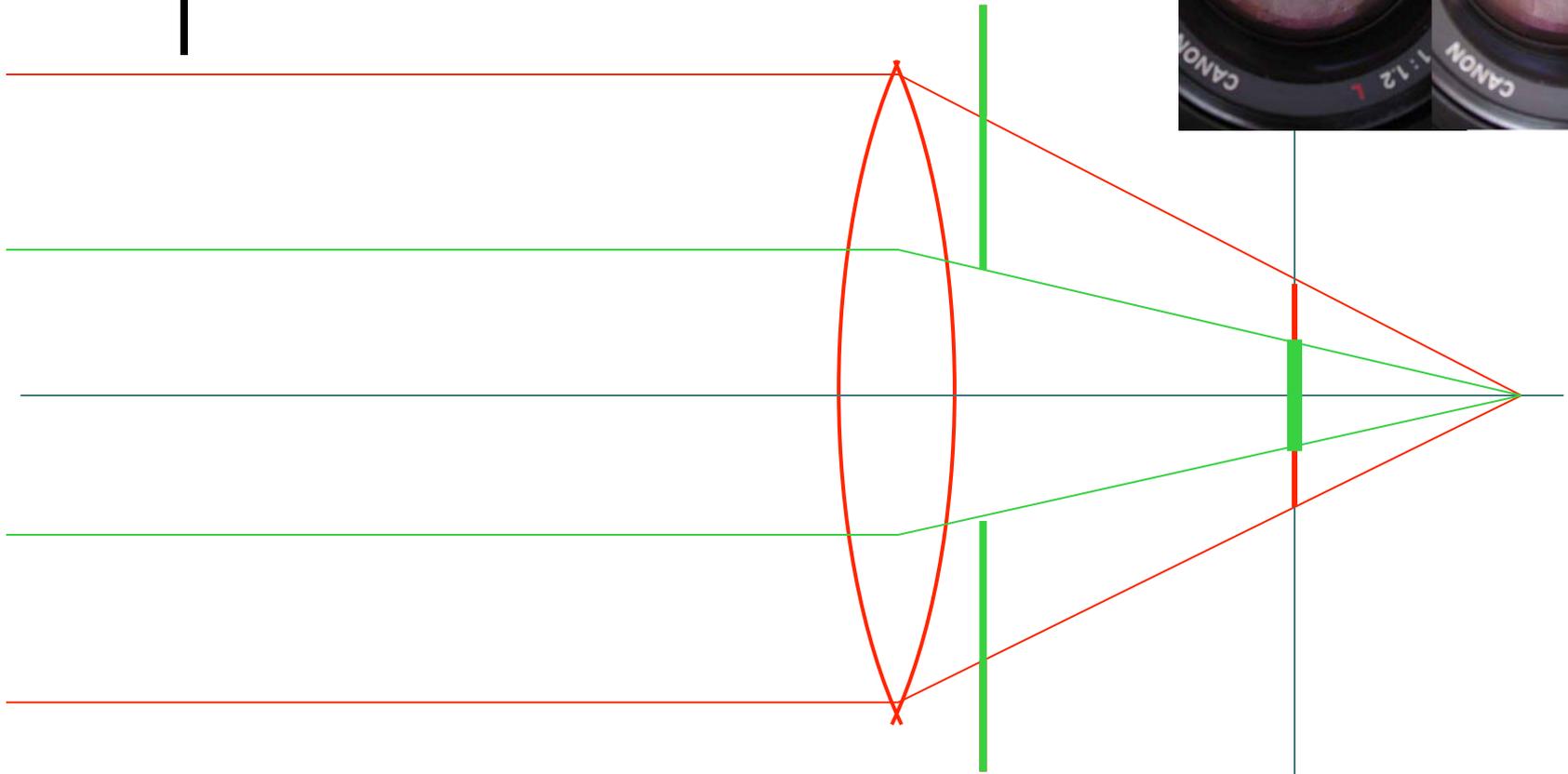
Nikon



デジタルカメラ (2/3インチ～1/3インチ)
8.8x6.6mm ～4.8x3.6mm
対角線長さ 11mm ～6mm

- 画面サイズが大きく異なる
 - 標準レンズの画角はおおよそ対角線の長さ

絞りととは？



- 絞りを絞るほど，画像は暗くなる（光が減る）
- 絞りを絞るほど，ぼけは小さくなる（ピントが合いやすい）



絞りをいっぱいにかいたとき

F1.7 1/1000



中ぐらいの絞り

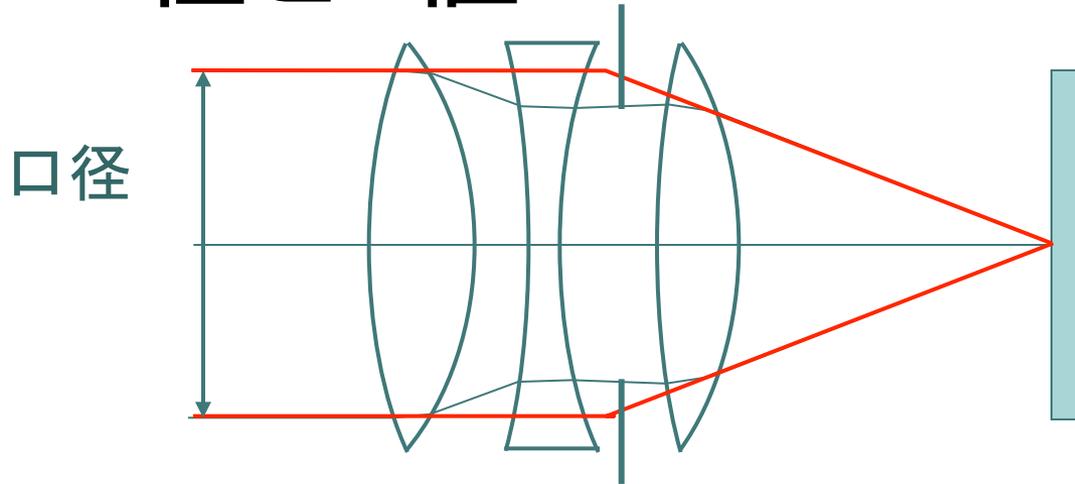
F4 1/160



絞りをいっぱい絞ったとき

F16 1/10

口径とF値



- 口径は、絞りの実際の直径ではなく、入射光束の直径である
- $F\text{値} = \text{焦点距離} / \text{口径}$
 - F値が小さいほど明るいレンズである
 - F値が2倍 = 明るさが1/4
 - 1, 1.4, 2, 2.8, 4, 5.6, 8, 11, 16, 22, 32, 45, 64, ...

画像の明るさ(露出)とは

○ 適正露出とは

- 露光量(像面上の明るさと露光時間の積)を一定に保たねばならない
- 像面上の明るさ:シーンの明るさ, F値
- 露光時間:シャッター速度
- 感度:フィルム感度, CCD のゲイン

○ 例えば絞りを1段開くと, シャッター速度を倍にする必要がある.

シャッター速度	30	60	125	250	500	1000
絞り値	F11	F8	F5.6	F4	F2.8	F2

絞りとシャッター速度の例

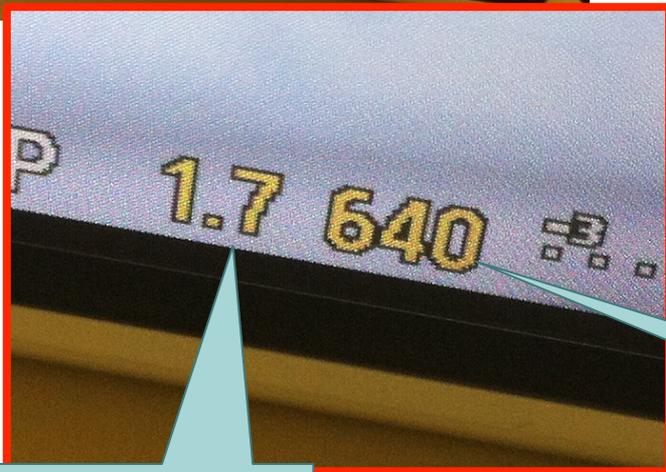


- 昔のカメラのうち一部は、露出計を簡略化するために絞りとシャッター速度を同軸に並べていた

もちろん現在のカメラでも



シャッター速度

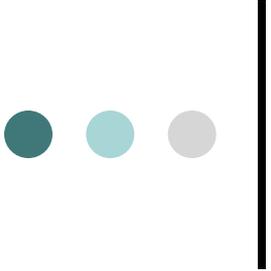


絞り(F値)



シャッター速度

絞り(F値)

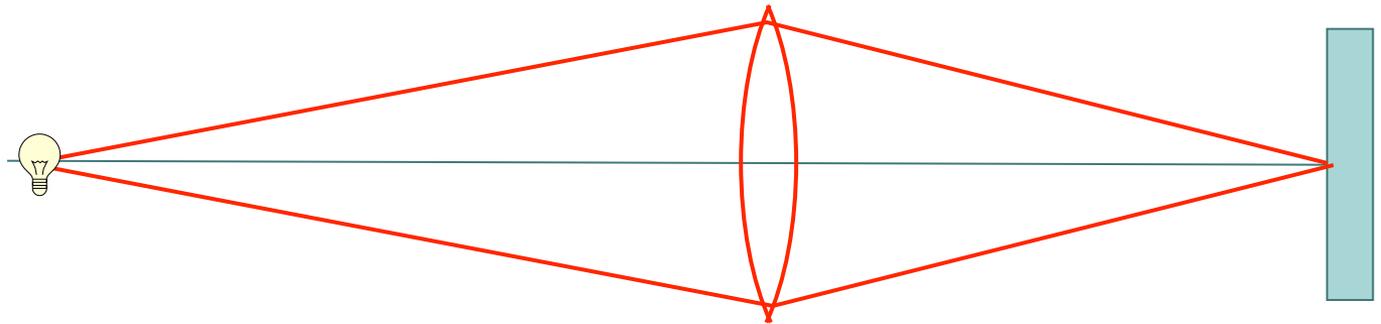


Quiz

- 絞りを F4, シャッター速度が $1/250$ 秒に対して
 - 絞りを F4 にしたまま, シャッター速度を $1/500$ 秒にすると, 画像は明るくなるか, 暗くなるか?
 - シャッター速度を $1/250$ 秒にしたまま, 絞りを F2.8 にすると, 画像は明るくなるか, 暗くなるか?
 - 絞りを F2.8 にしたとき, シャッター速度をいくらにすると露出はもとと同じになるか?

ピントが合うとは

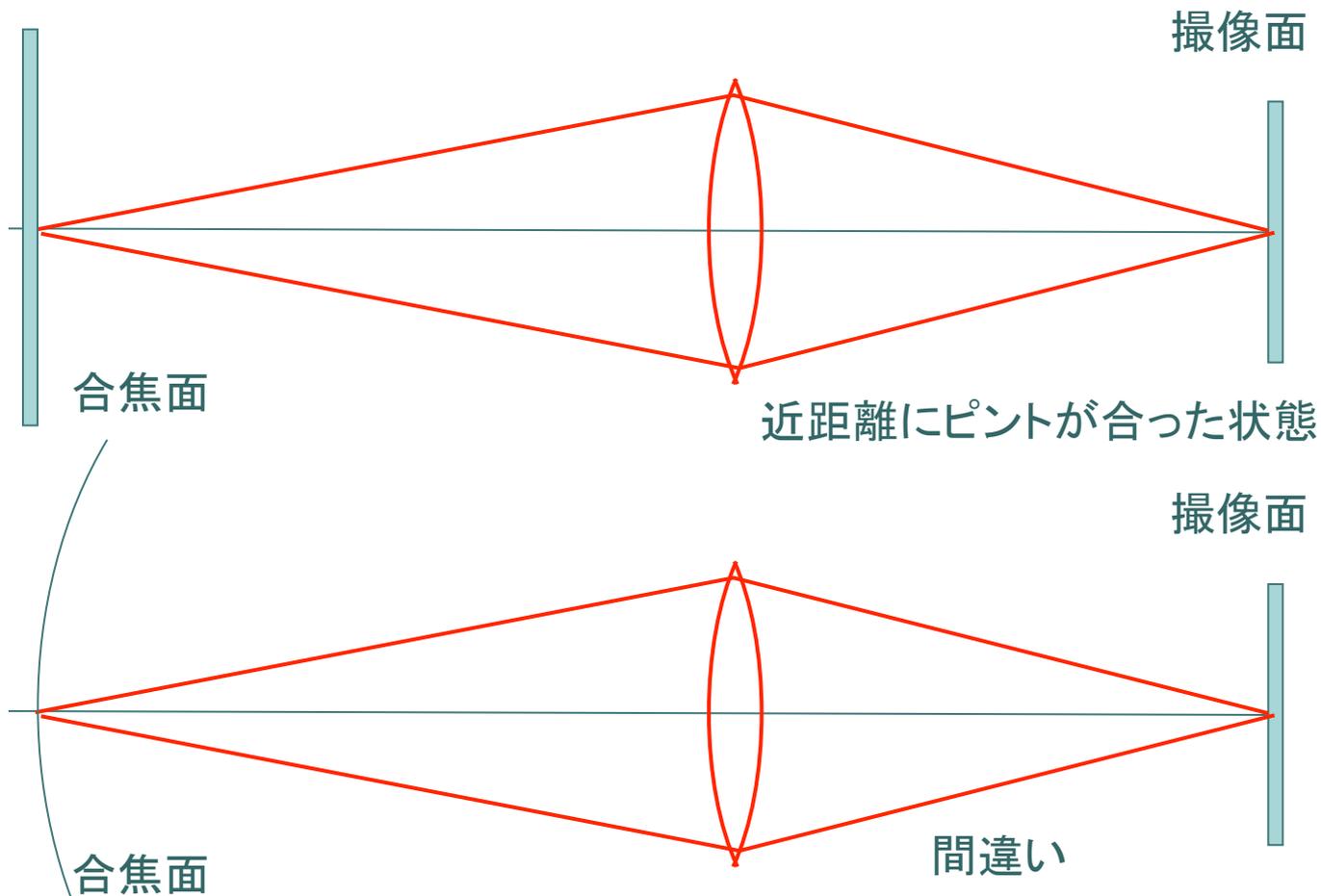
無限遠にピントが合った状態



近距離にピントが合った状態

- 1点から出た光が撮像面上で再び1点となる

ピントの合う面

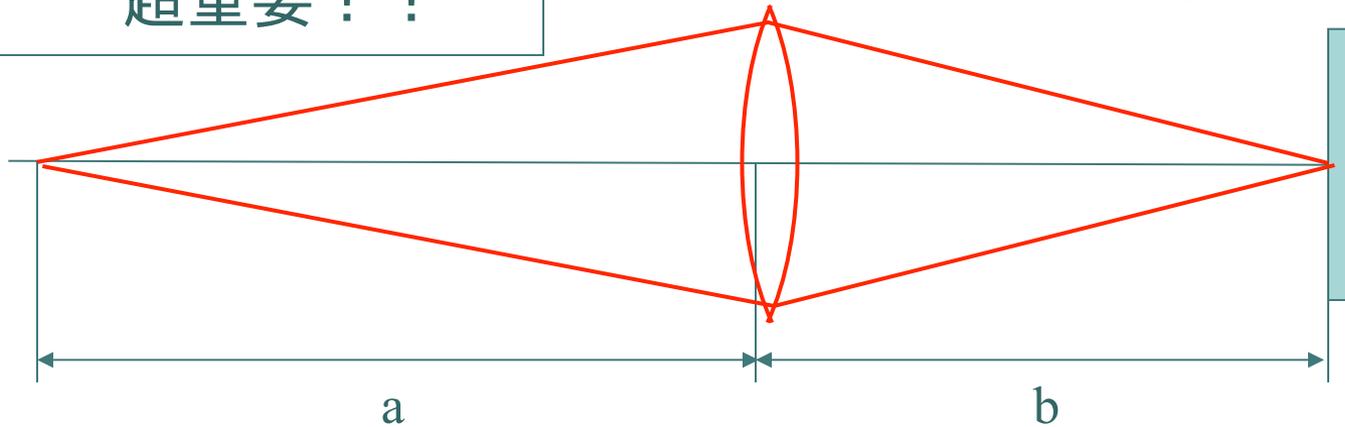
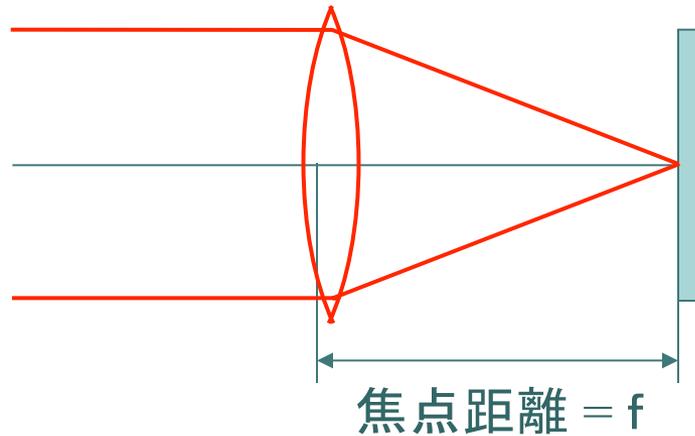


- 撮像面が平面なら合焦面も平面（理想レンズの場合）

結像公式(1)

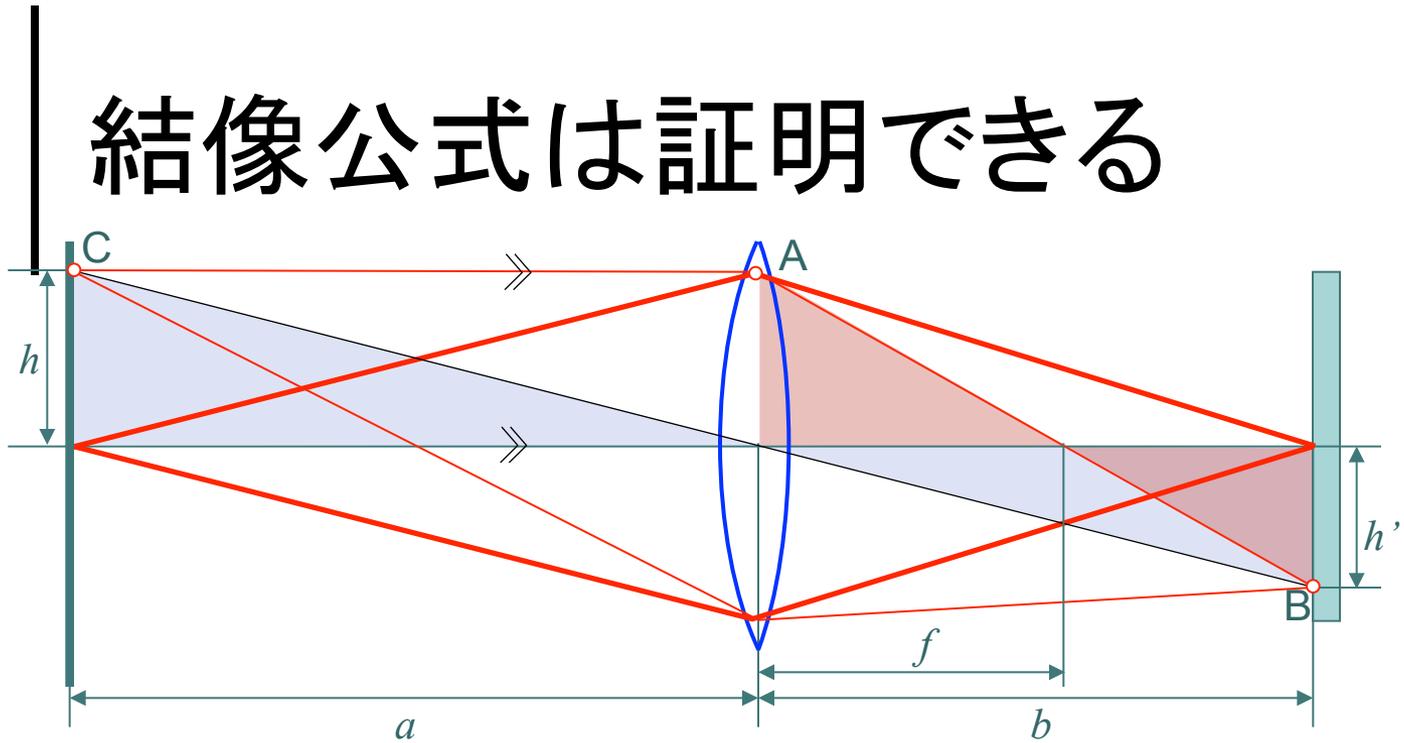
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b}$$

超重要！！



- レンズに近接した物体ほど，像は像面の後ろ方向に出来る
 - レンズを撮像面から離すことで近くにピントを合わせる

結像公式は証明できる



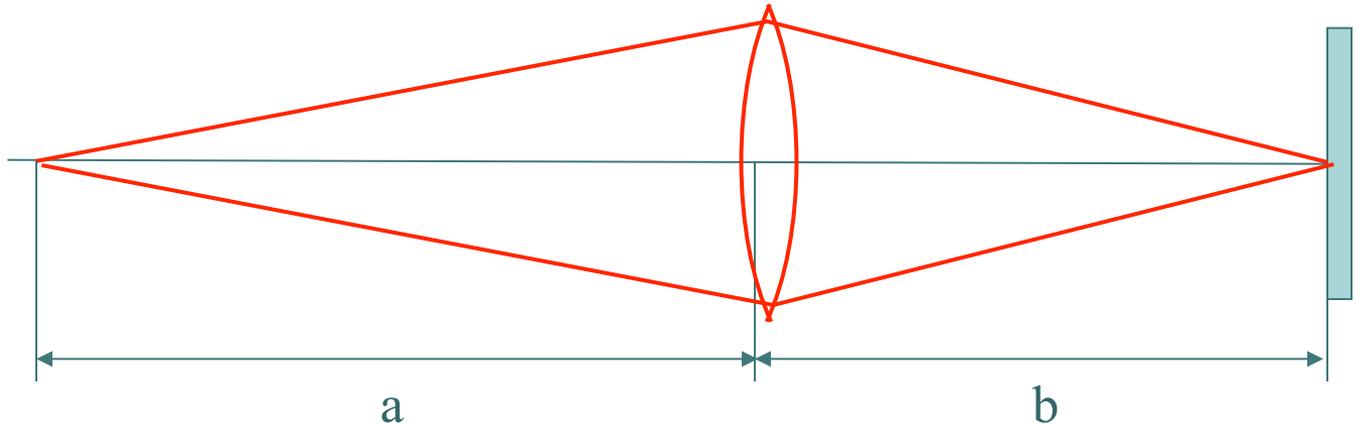
$\frac{h}{a} = \frac{h'}{b}$ から $h = \frac{a}{b}h'$ を得る. これを $\frac{h}{f} = \frac{h'}{b-f}$ に代入して

h を消去すると, $\frac{ah'}{fb} = \frac{h'}{b-f}$ となって自然に h' も消える.

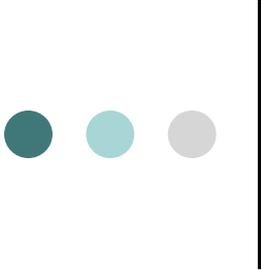
$\frac{a}{fb} = \frac{1}{b-f}$ これを整理すると $\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b}$ が得られる.

結像公式から分かること

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b}$$

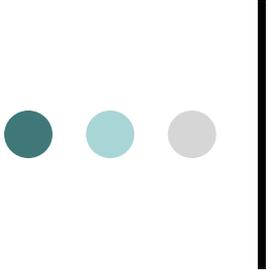


- $b = f$ なら $a = \infty$
 - 無限遠にピントが合っている状態を表す
- $a = f$ なら $b = \infty$
 - レンズは逆向きに使っても同じ焦点距離



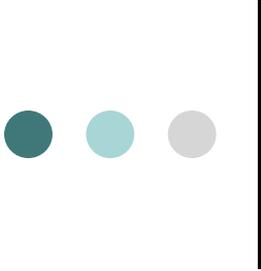
練習問題(1)

- 焦点距離 50mm のレンズを 5mm 繰り出したとき, おおよそ何mm 先にピントが合うか



練習問題(1)回答

- $1/50 = 1/b + 1/55$
 - ゆえに $b = 550$ (mm)



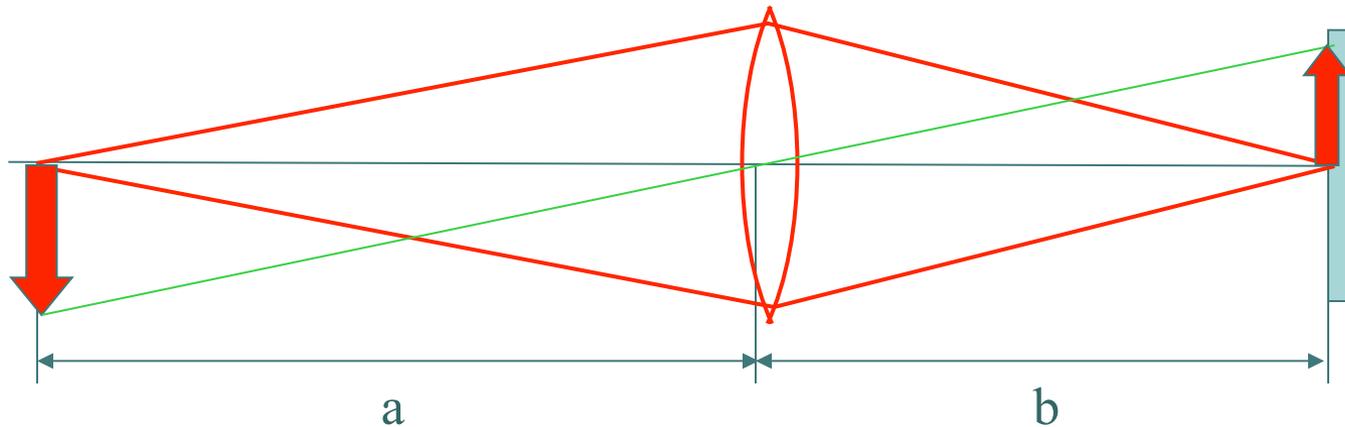
練習問題(2)

- 10mm レンズで 1m 先にピントを合わせるとき, レンズを何mm繰り出せばよいか
- これが 20mm レンズの場合はどうか

練習問題(2)回答

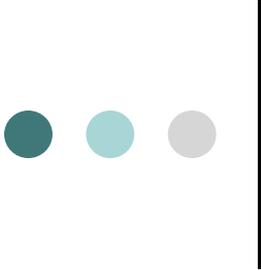
- 距離に対して焦点距離が小さいので、それを無視する
 - $1/10 = 1/1000 + 1/a$ $a = 10.101$
 - ・ ゆえに 0.101mm 繰り出せばよい
 - $1/20 = 1/1000 + 1/a$ $a = 20.408$
 - ・ ゆえに 0.408mm 繰り出せばよい
 - 焦点距離が長いほど繰り出し量は大きい

撮影倍率



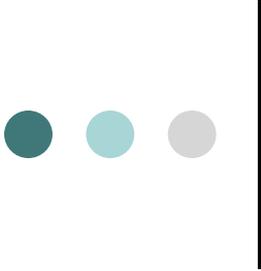
$$\text{倍率 } M = \frac{b}{a}$$

- 被写体と像の大きさの比
- $M=1$ のとき, 等倍という



練習問題(3)

- 等倍撮影のとき, レンズの繰り出し量はどの程度になるか?

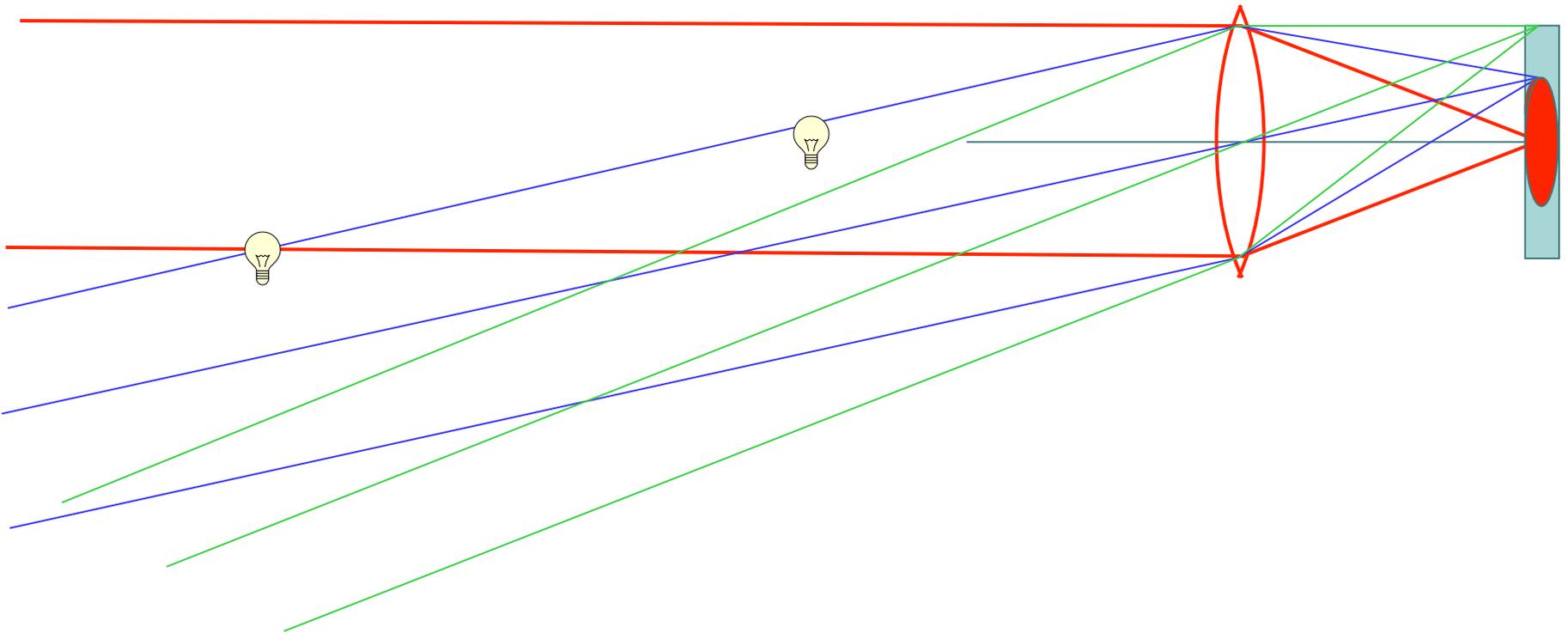


練習問題(3)回答

- $1/f = 1/b + 1/a$, $a=b$ より $a = b = 2f$
 - レンズの焦点距離に等しいだけ繰り出せば等倍となる
 - フィルムと被写体の距離はおおよそ焦点距離の4倍
 - フィルムと被写体は焦点距離の4倍よりも近づけることは出来ない

ぼけ(デフォーカス)とは

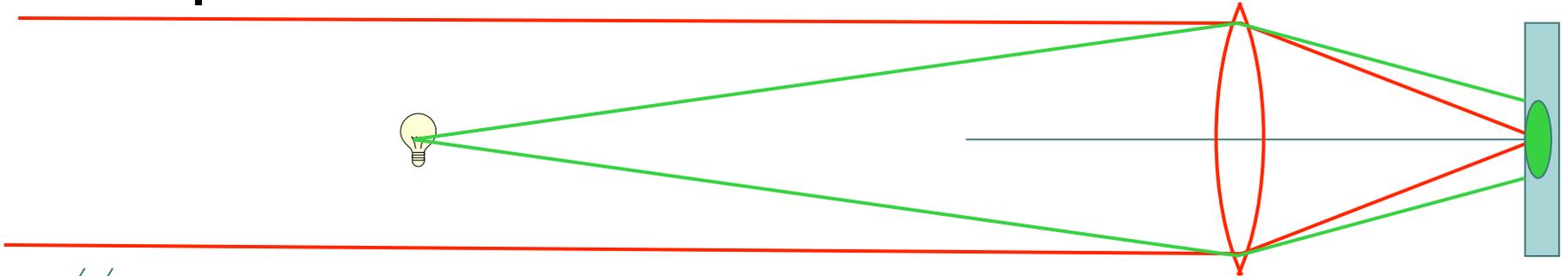
無限遠にピントが合った状態



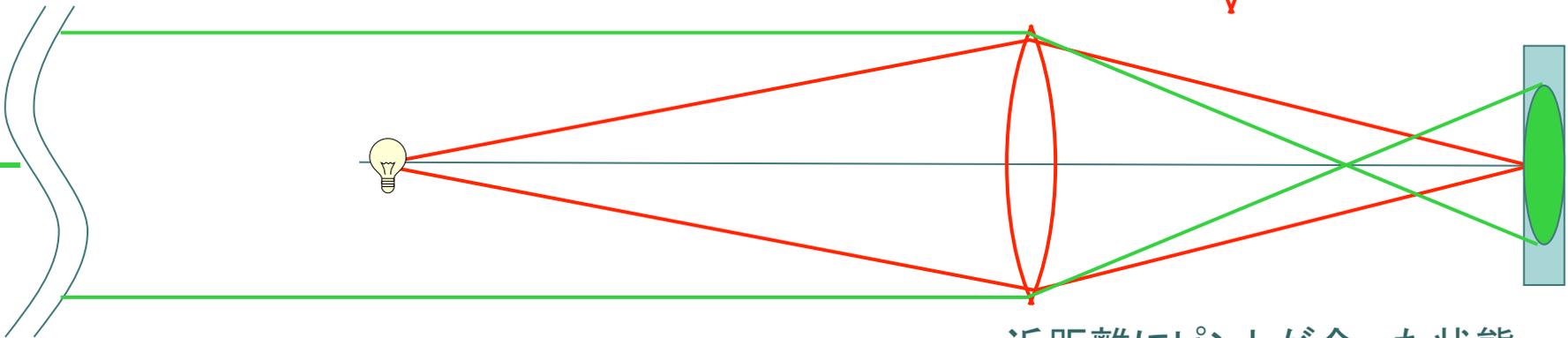
- 1点にあつまる光束に太さがあることが原因

ピント合わせとぼけ

無限遠にピントが合った状態

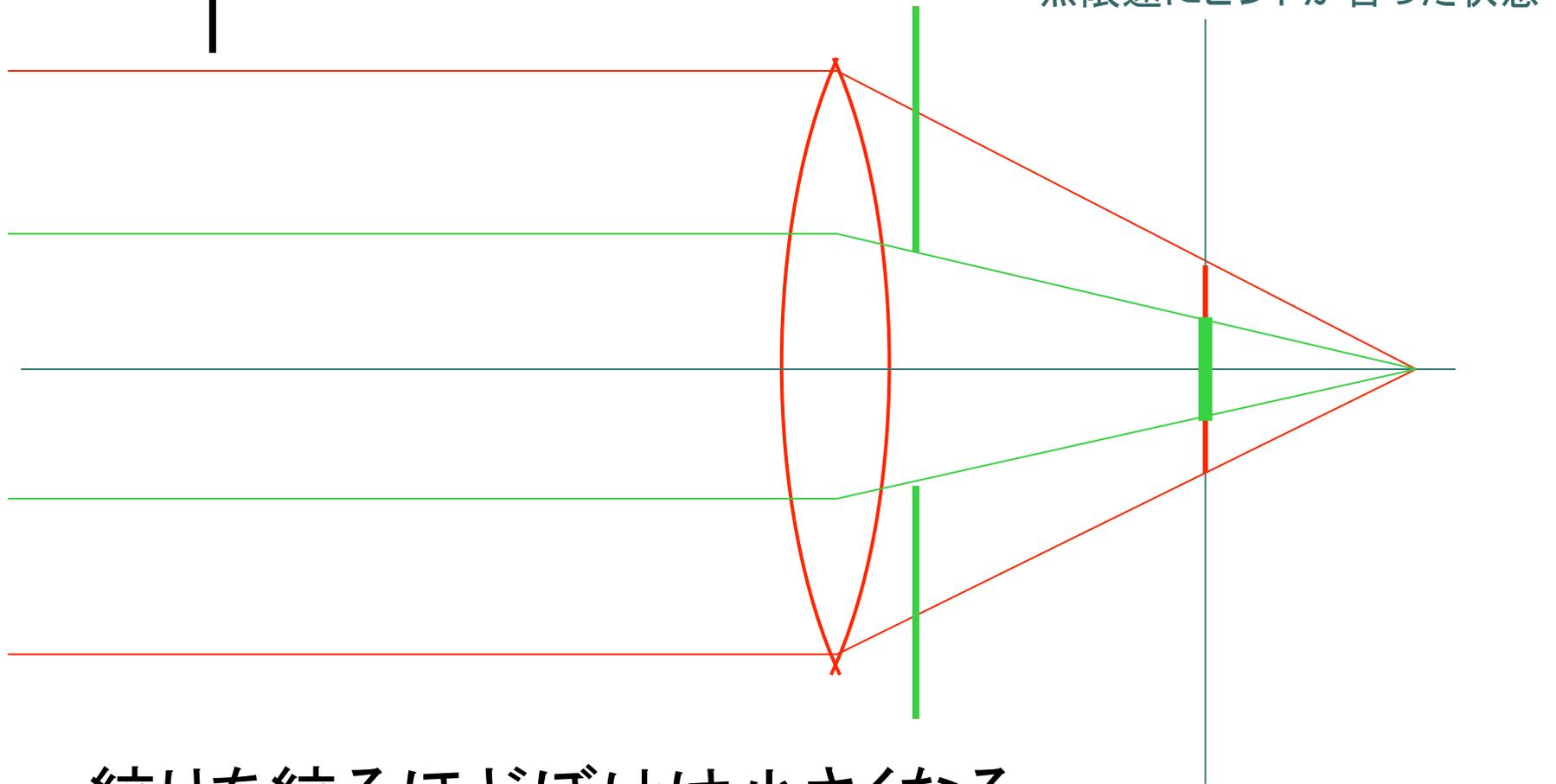


近距離にピントが合った状態



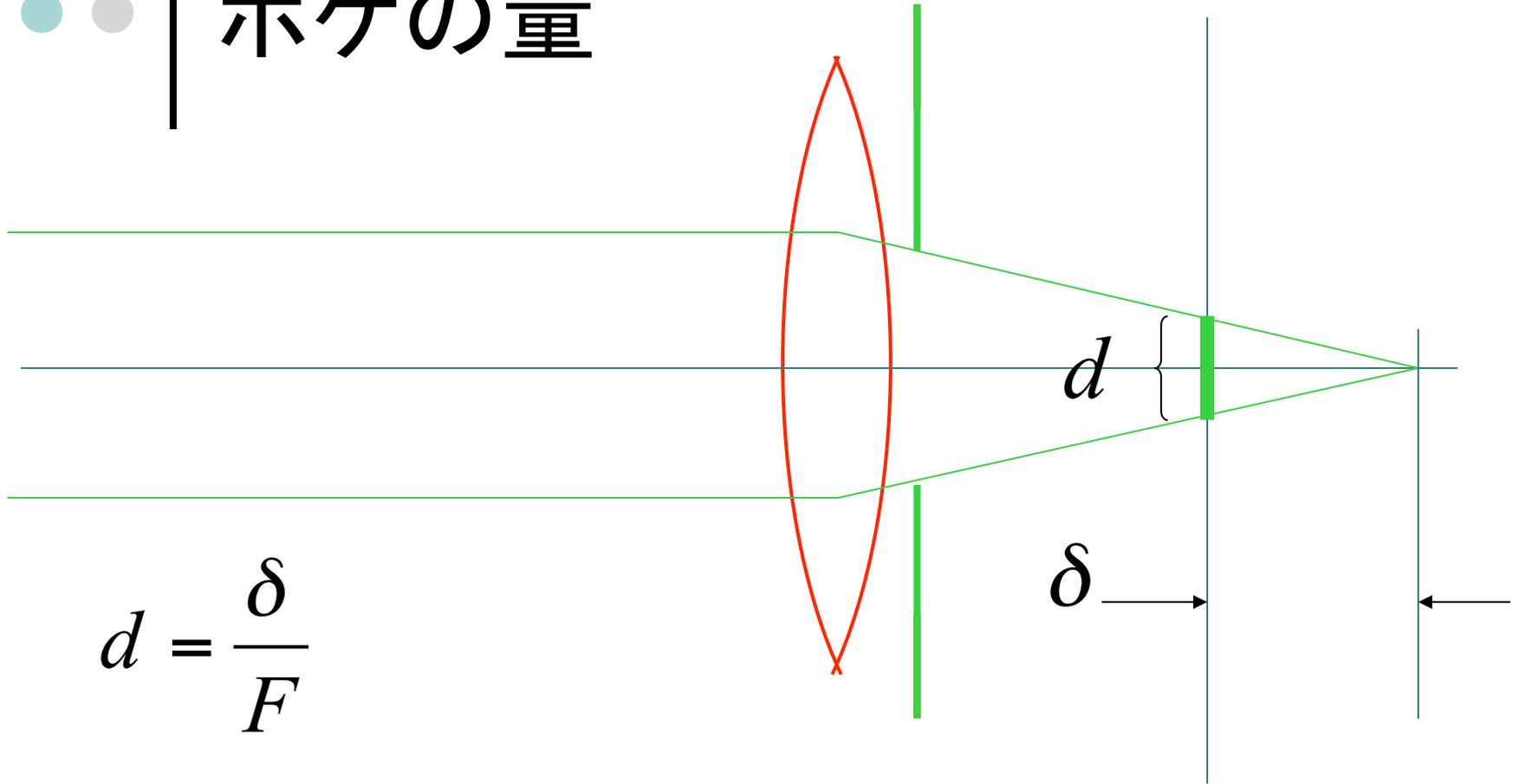
- 異なる距離に同時にピントを合わせることが不可能
 - では、「おおよそ」ピントを合わせることが？

絞りとぼけ



- 絞りを絞るほどぼけは小さくなる

ボケの量



- 像面(フィルム面)上のボケの径を錯乱円径と呼ぶ
 - 錯乱円 = circle of confusion
 - F値と、像の深さ方向のずれ δ によって決まる

● ● ● | どれぐらいならぼけて見えないか

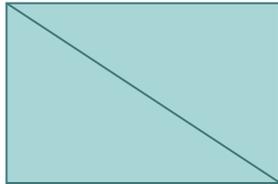
○ 肉眼の分解能

- 5', 1', 40'', など諸説(条件による)
- 例えば 2' としたとき, 30cm 先で 0.17mm のものが分解する
- 対角線長さ 300mm の物体に対しては, 1/1700 の分解能

○ 写真では

- 対角線の 1/1000~1/1500 が1つの基準
- 許容錯乱円径(ϵ で表す)と呼ぶ
- permissible circle of confusion

許容錯乱円径



35mm カメラ(135判)
36mm x 24mm
対角線長さ 43.3mm

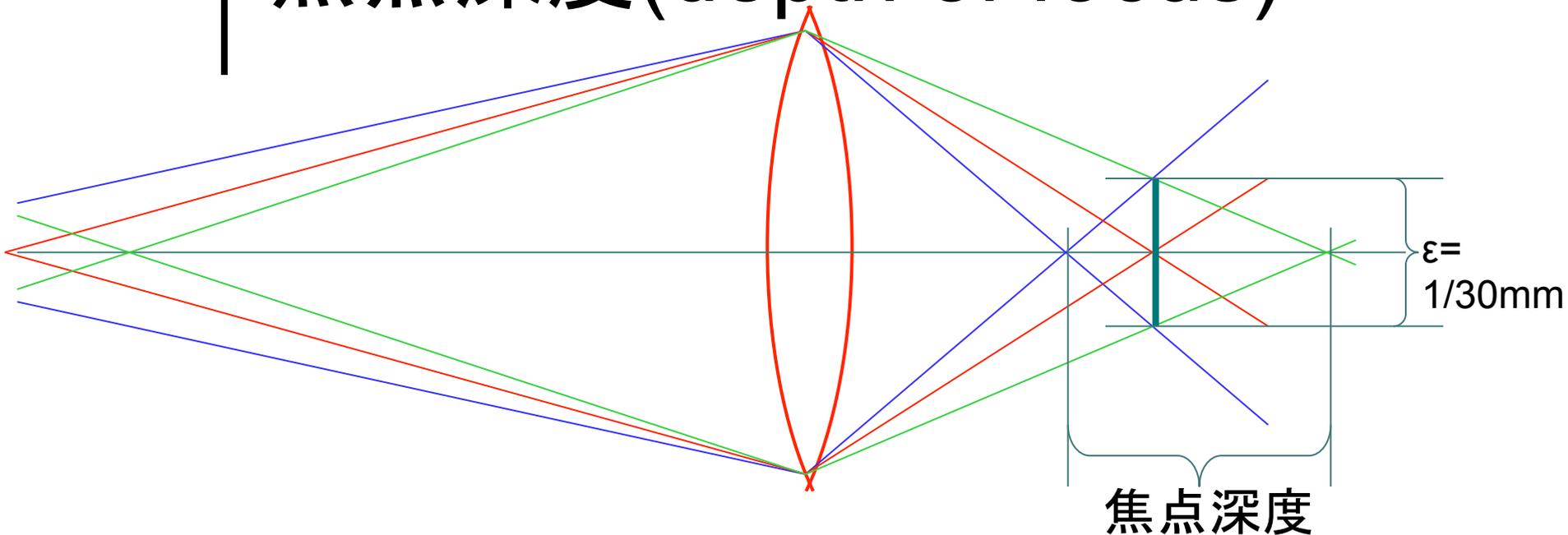
- 35mm カメラの場合, $\epsilon=1/30\text{mm}$ が用いられる
 - 対角線の $1/1300$ 倍
- デジタルカメラの場合, 画素のピッチが1つの目安



デジタルカメラ (2/3インチ~1/3インチ)
8.8x6.6mm ~ 4.8x3.6mm
対角線長さ 11mm ~ 6mm

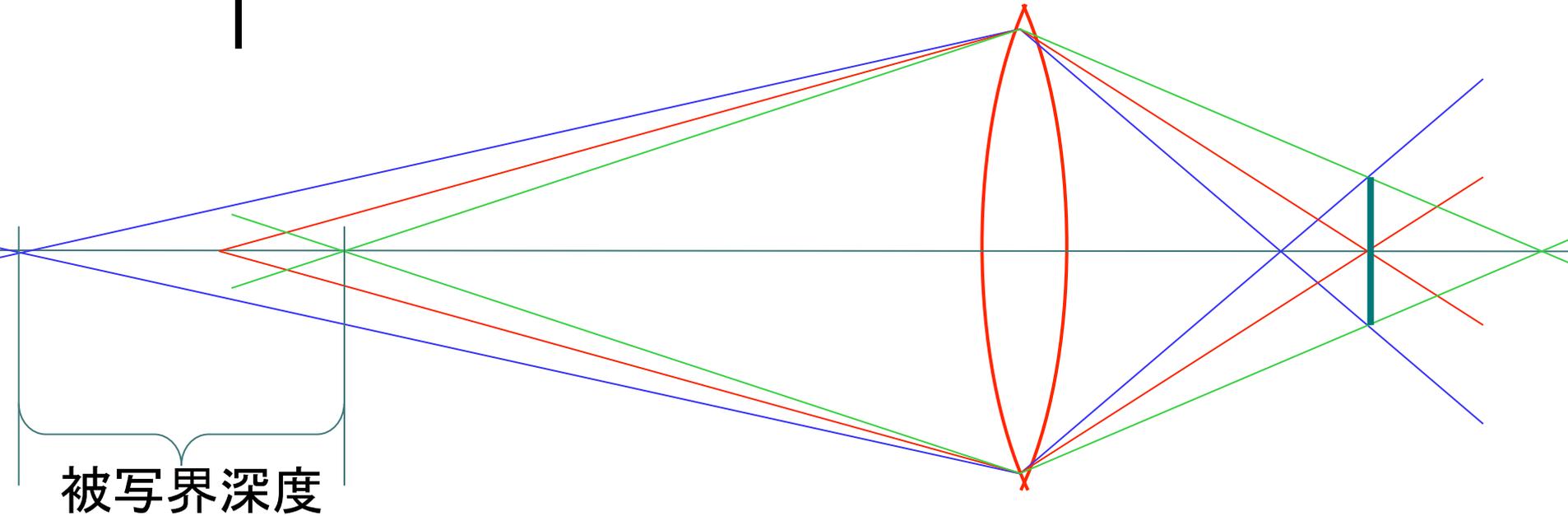
- 例えば, iPhone5sの場合
 - 1/3inch 800万画素なので, 画素幅は $1.5\mu\text{m}$ 程度

焦点深度(depth of focus)

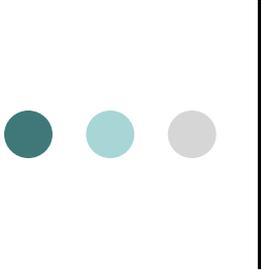


- 焦点深度=許容錯乱円径以下のぼけを生じる像面でのピントの深さ
 - 近似的に焦点深度は $2 \cdot F \cdot \epsilon$ となる
 - $\epsilon \ll f$ のため

● ● ● | 被写界深度(depth of field)



- 被写界深度 = 焦点深度に対応する被写体側のピントの深さ



練習問題(4)

- 許容錯乱円径を $1/30\text{mm}$ とする.
50mm F4 レンズで 8m 先にピントを合わせたとき, 被写界深度はいくらか.

練習問題(4)回答

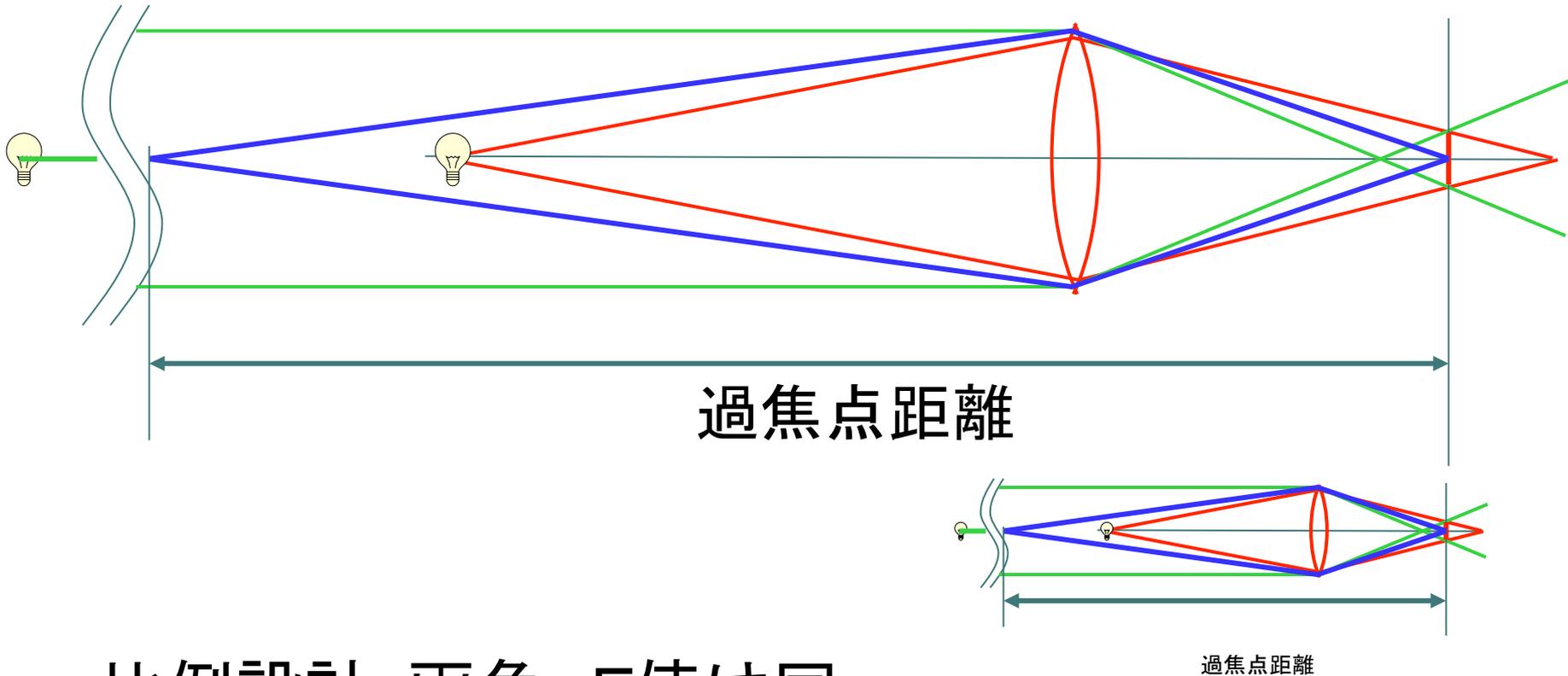
- F4 レンズなので, 像面深度は
片側 $4/30$ [mm] = 0.133mm
- 50mm レンズで 8m にピントを合わせた
とき, 繰り出し量は0.314mm
- つまり焦点深度は 0.314 ± 0.133 mm
- ピントの合う範囲は 5.6m ~ 13.9m
- 被写界深度は 8.3m

被写界深度目盛り



- F4 の時の被写界深度目盛りは5m+ ~ 10m+

比例設計



○ 比例設計：画角，F値は同一

● 焦点距離，被写界深度，焦点深度，は比例



なぜデジタルカメラはピントが 合いやすいのか

- 縮小率 $1/4 \sim 1/8$ の比例設計
 - 被写界深度が4~8倍
- 小さいものが写しやすい
 - 等倍でも被写体の大きさは $1/4 \sim 1/8$
- 近くのものにピントが合わせやすい
 - 繰り出し量が $1/4$ でも $1/4$ の距離にピントが合う
 - 同じ距離にピントを合わせる場合、繰り出し量は $1/16 \sim 1/64$ で済む