

第83話 サイエンスカフェ in 静岡

光でみる

川田善正

kawata@eng.shizuoka.ac.jp

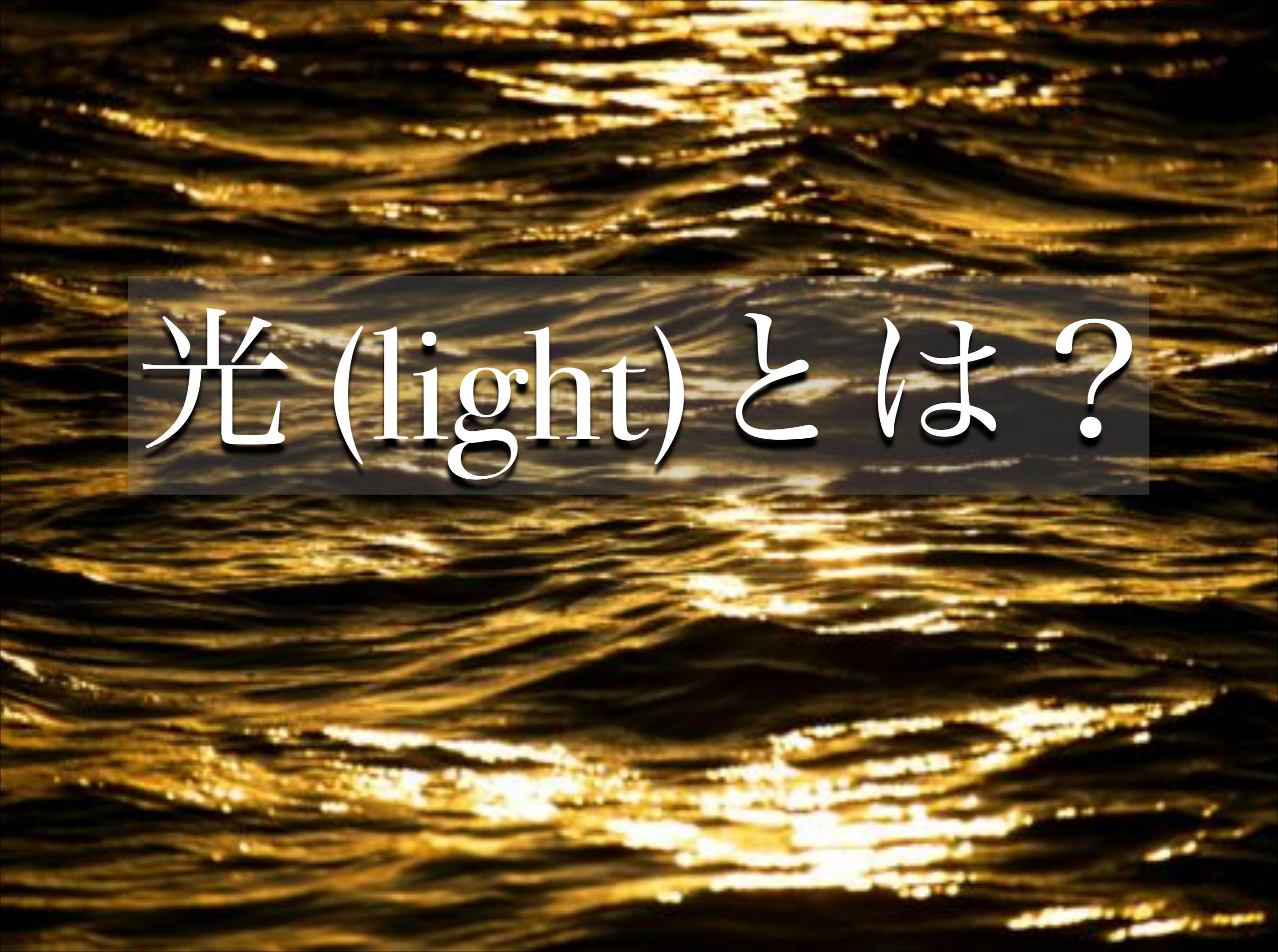
～顕微鏡の話～

自己紹介

- ❖ 川田 善正 (かわた よしまさ)
- ❖ 福島県立安積高等学校卒業
- ❖ 1992年 大阪大学工学研究科 応用物理学専攻修了
- ❖ 1992年 大阪大学応用物理学科 助手
- ❖ 1997年 静岡大学工学部機械工学科 助教授
- ❖ 2014年 静岡大学電子工学研究所

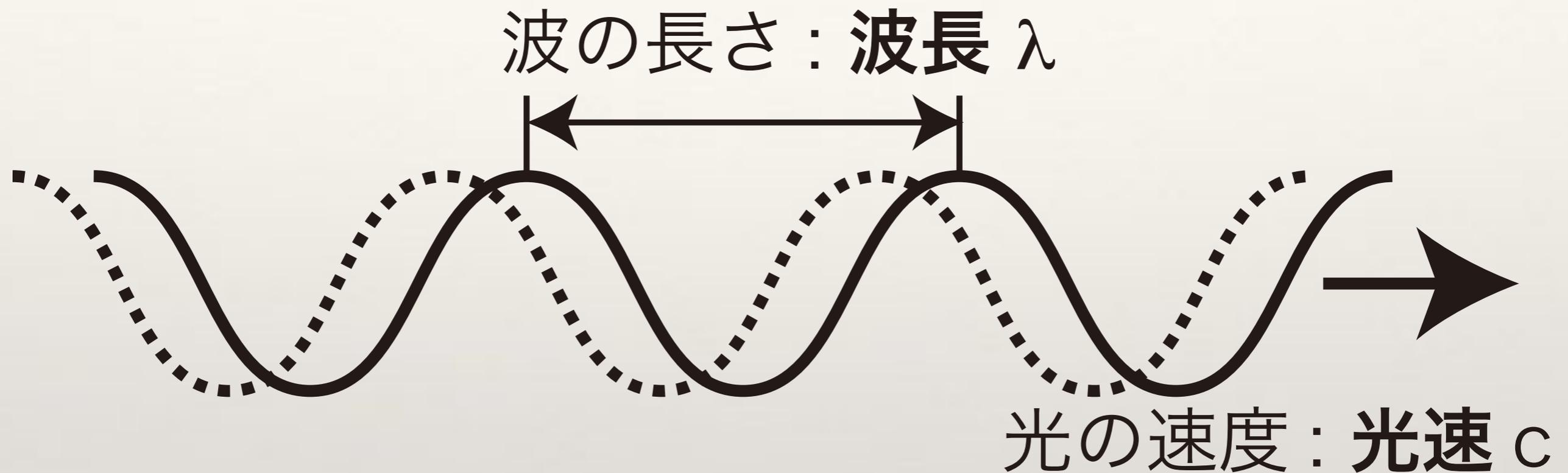
今日のお話

- ❖ 光 (light) とは？
- ❖ 像を結ぶ: 結像
- ❖ レンズの公式
- ❖ 小さいものを観察する方法
- ❖ どこまで小さいものが見えるか？
- ❖ 走査型光学顕微鏡
- ❖ 高分解能化の試み



光 (light) とは？

波としての光（電磁波の一つ）



光速 $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s} = 30 \text{ 万 km/s}$

携帯電話なら 周波数 800MHz

波長: 37.5 cm

可視光 (かしこう)

波長: 400~800 nm (10^{-9} m)

(携帯の電磁波の1/1,000,000)

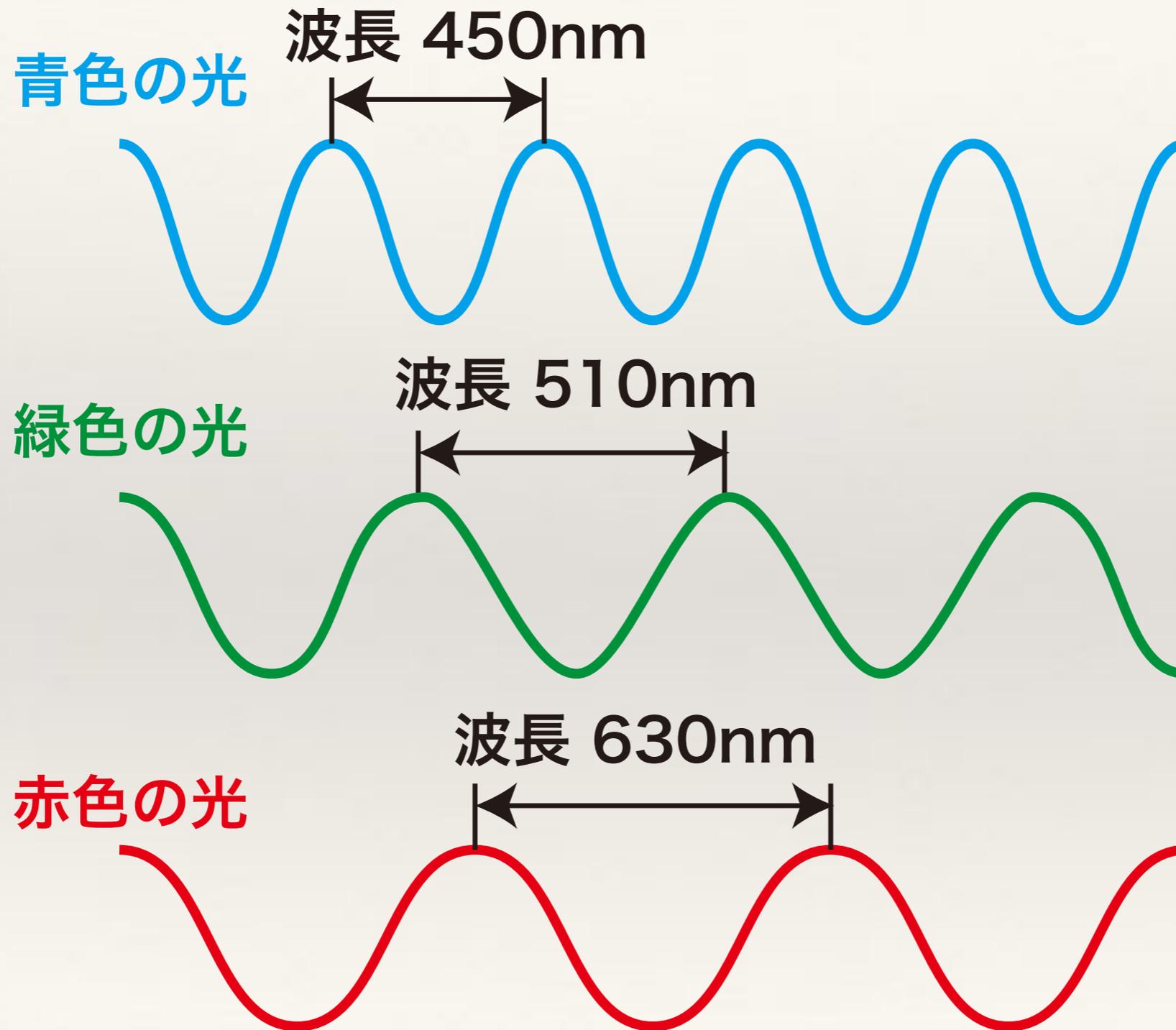
お札の厚み: 1枚 vs 100 m

周波数 750~375 THz (10^{12} Hz)

(携帯の電磁波の1,000,000倍)

点滅するライト: 1秒間 vs 12日間に一度

光の色の違い



一家に1枚“光マップ”



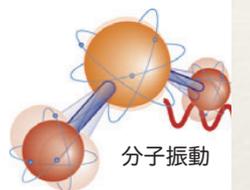
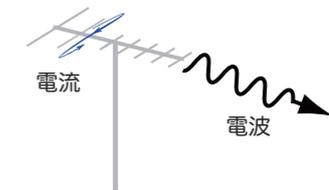
光は、自然界にいつも存在していて、あらゆる植物や生物、人類の生命と営みを支えています。太陽からの光は、地球上に温度をもたらし、植物の光合成のエネルギーとなります。蛍光灯やランプは私たちの生活を明るく照らします。レーザーは材料を加工したり、手術や治療をします。

ラジオやテレビや携帯電話の信号を送る電波、電子レンジで使われるマイクロ波、電気こたつや電熱線で加熱に用いる赤外線、日焼けや殺菌作用がある紫外線、レントゲン写真に用いるX線や、原子崩壊のときに発生するγ線などすべて、光のなかまです。

この光マップは、光が自然界や私たちの生活の中でどのようにつくられ、どのように使われているかをまとめたものです。

光の起源

光はどこで生まれるのでしょうか。光子（フアンテナの中で電子が動くと、低い周波数の光と、原子の中にある電子も一緒に動くので光が生まれます。その温度と光の周波数は対応します。分子の振動原子の周りを回る電子が別の軌道に移ると（電子遷移）、光が出



像を結ぶ：結像



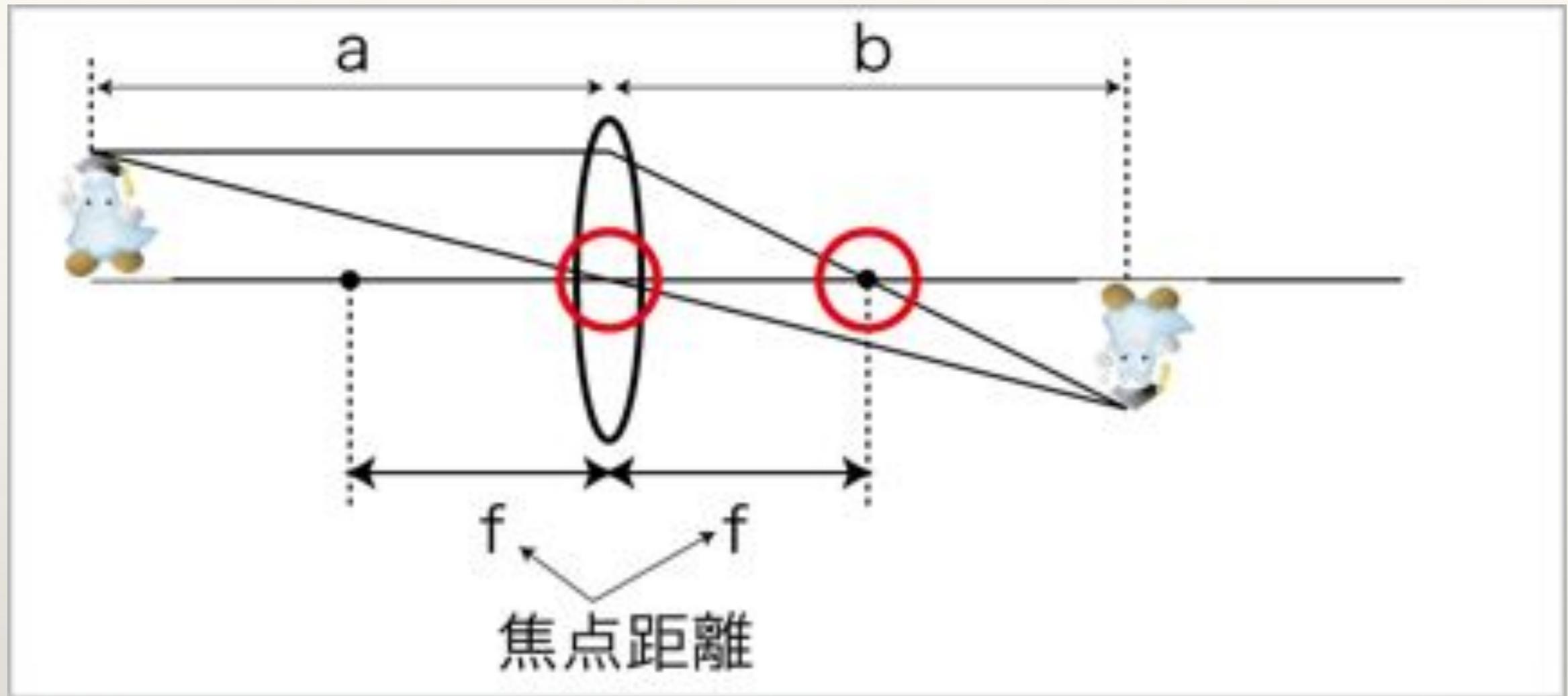
結像の実験



結像の実験 2



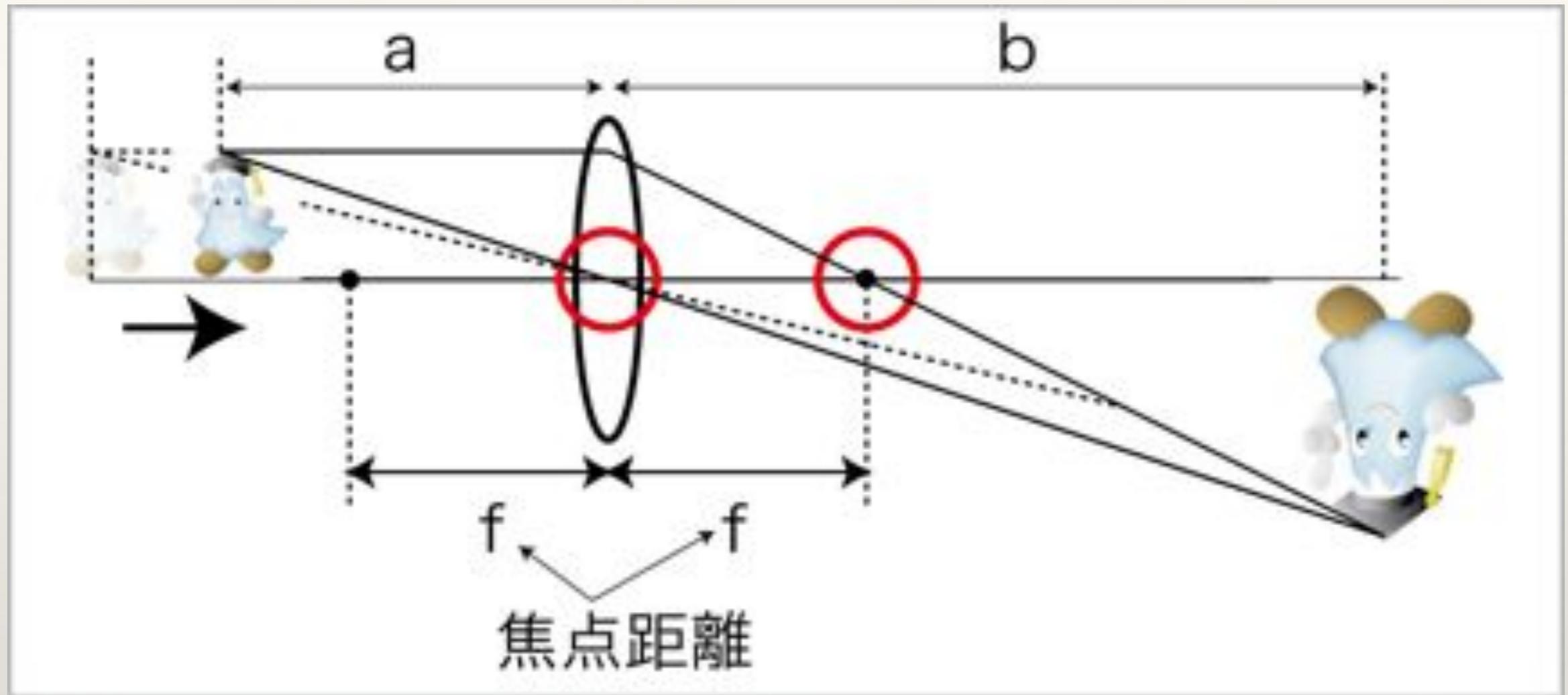
レンズの公式



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

倍率 $M = \frac{b}{a} = \frac{f}{a - f}$

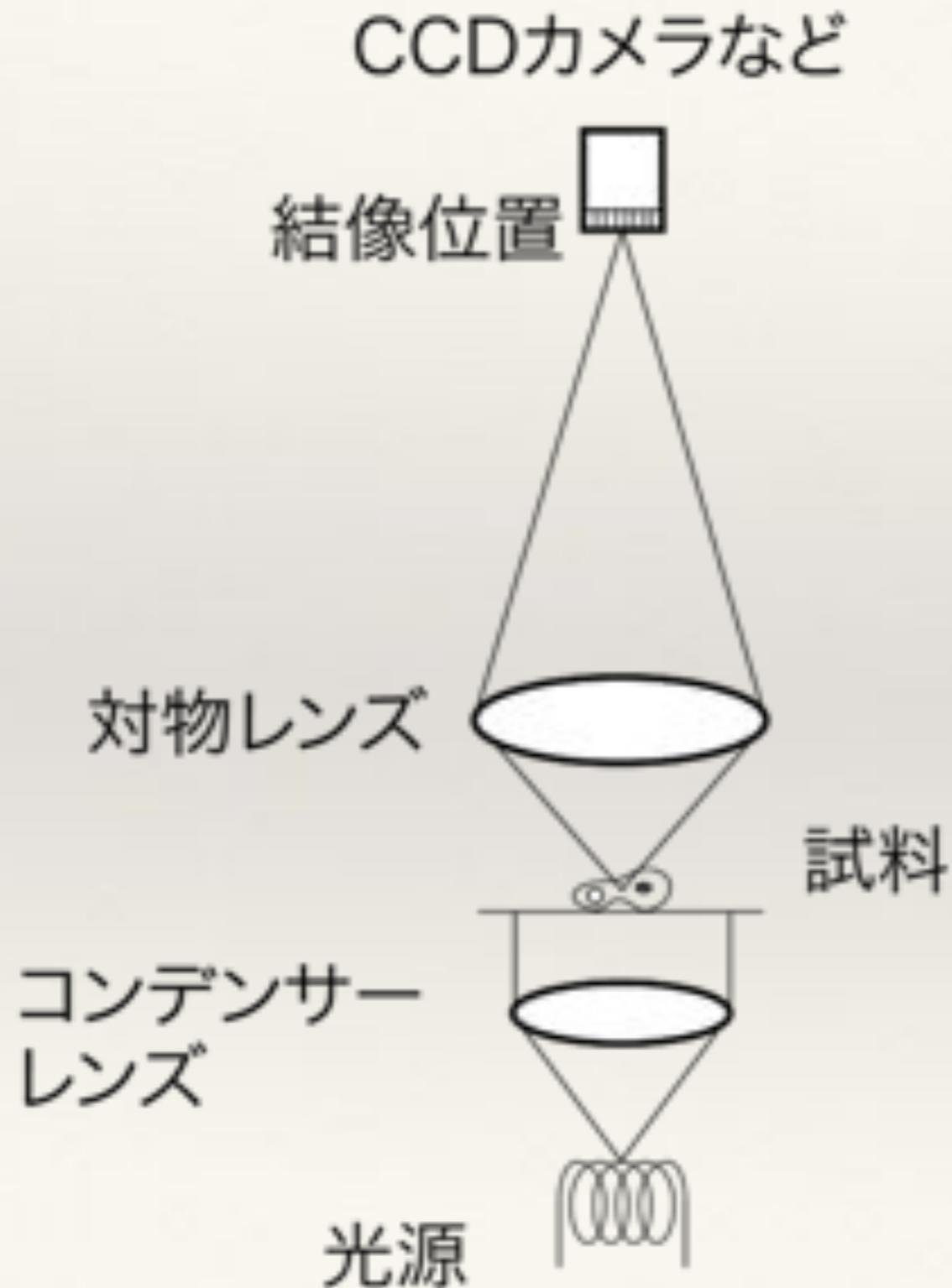
レンズの公式



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

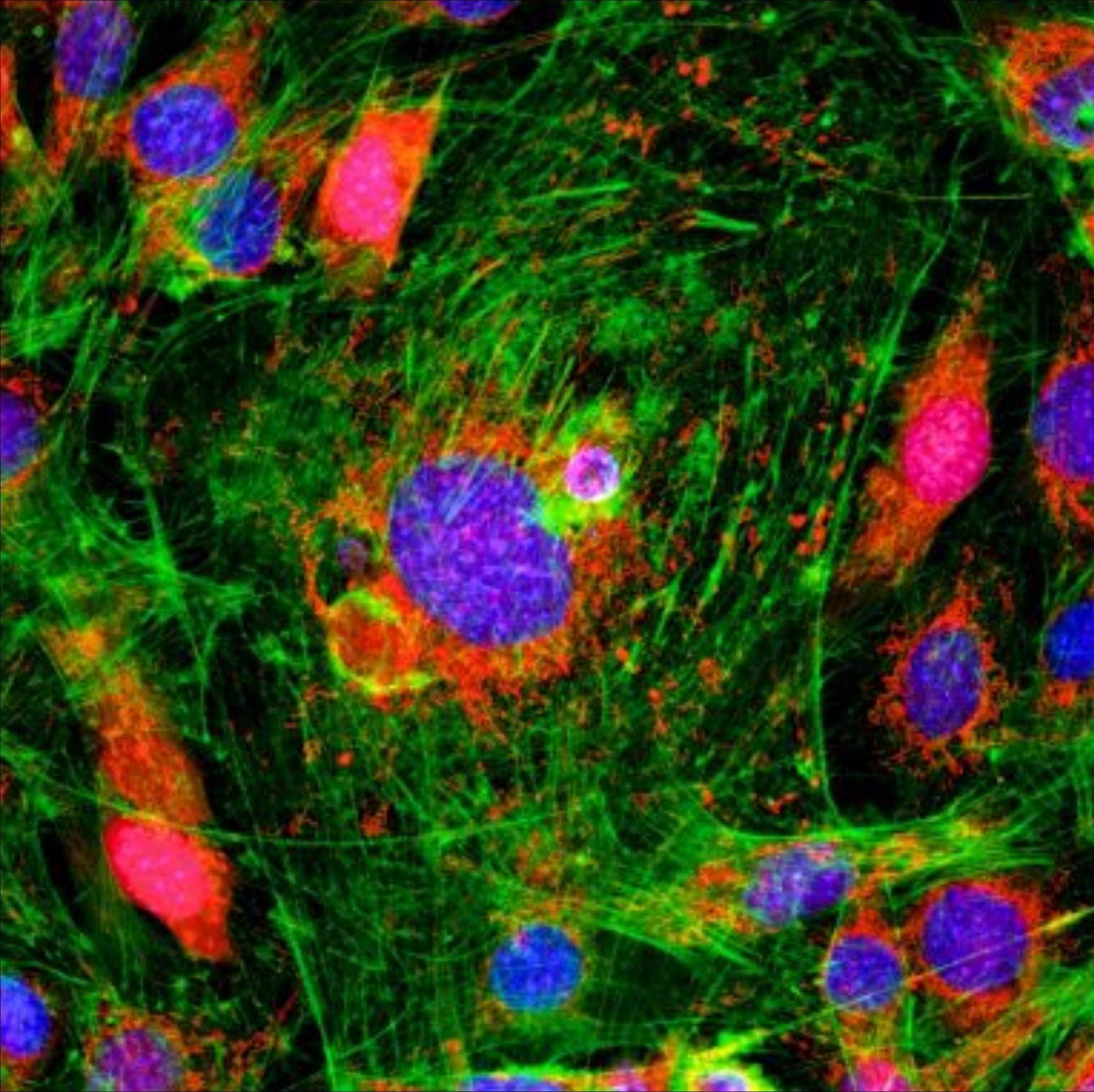
倍率 $M = \frac{b}{a} = \frac{f}{a - f}$

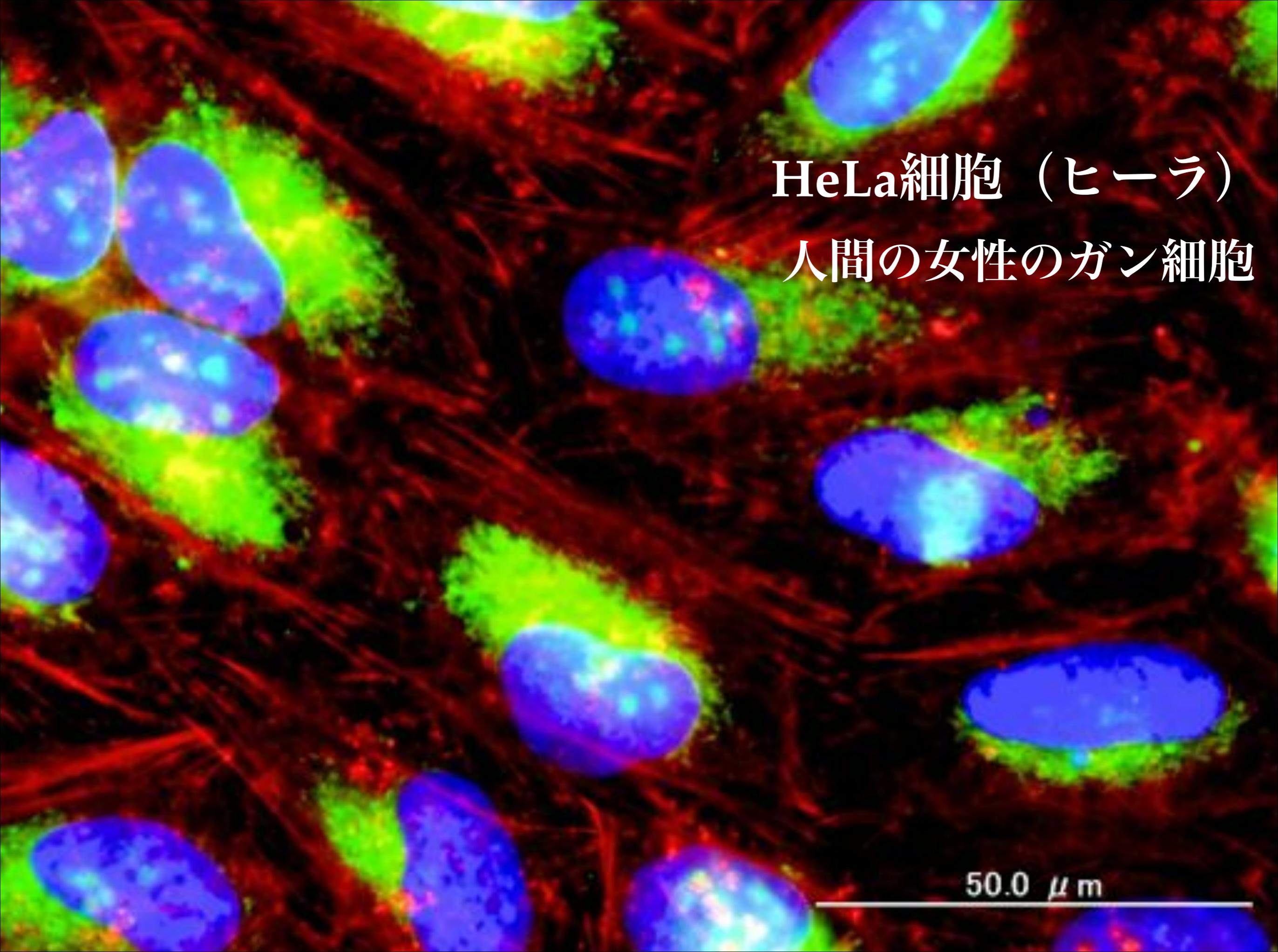
原理は単なる結像！



- ❖ 試料をムラなく照明し、対物レンズで拡大する。

マウスの 骨芽細胞





HeLa細胞（ヒーラ）
人間の女性のガン細胞

50.0 μm



どしままで小さい
ものが見える？

倍率はいくらでも大きくできる！

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

倍率 $M = \frac{b}{a} = \frac{f}{a - f}$

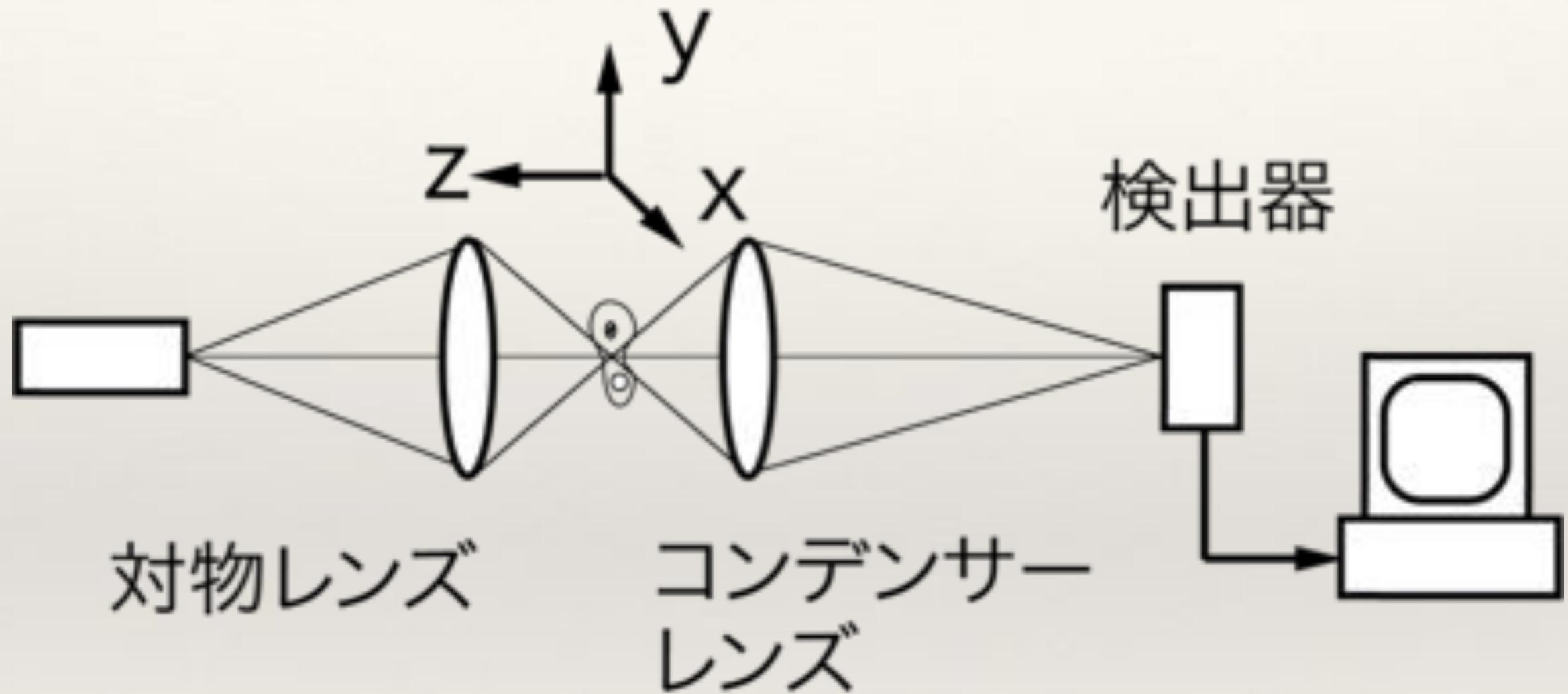
$a \rightarrow f$ に近づけると $M \rightarrow \infty$

原子や分子も見られる？



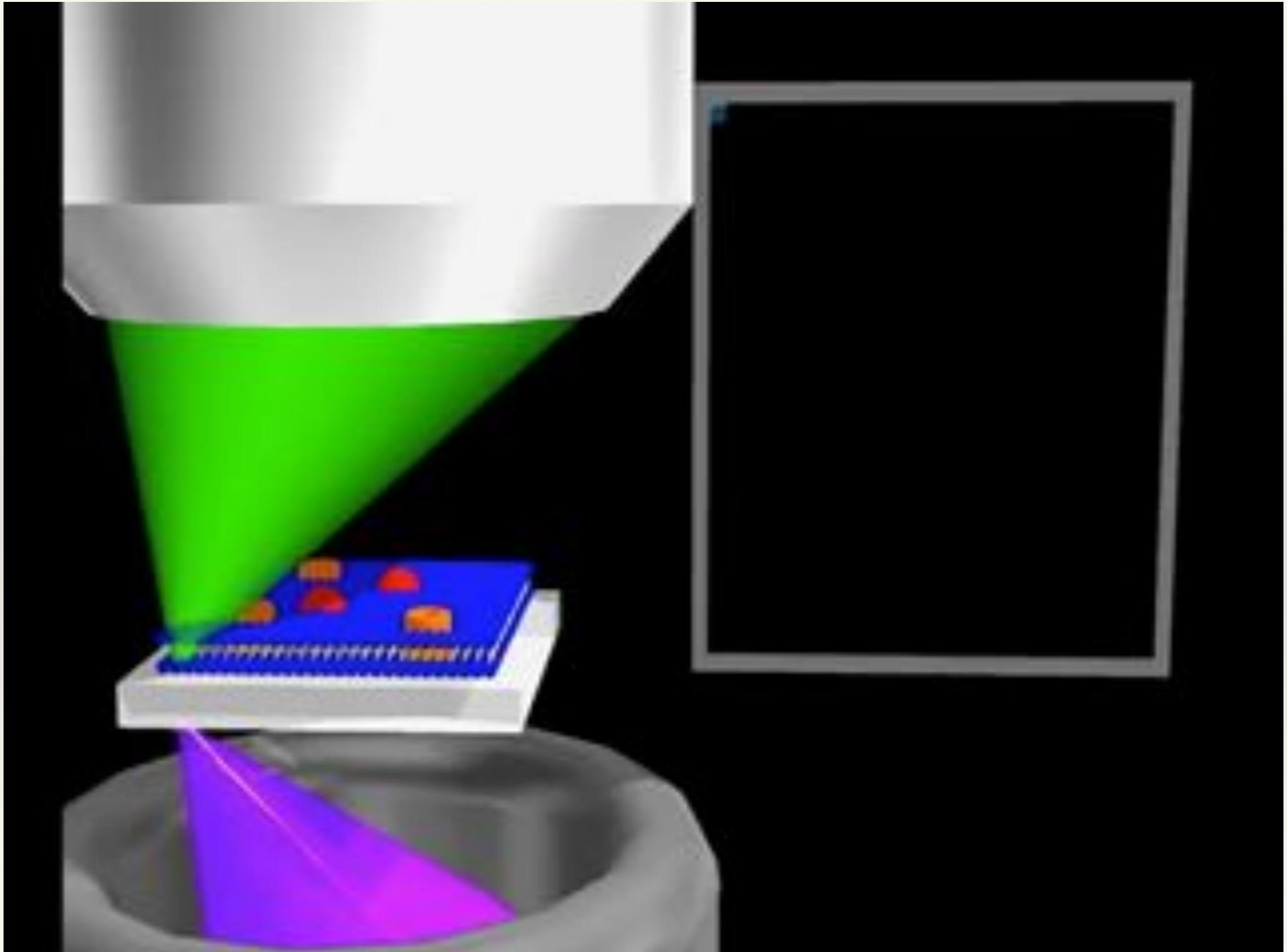
走査して試料を観察する
～走査型光学顕微鏡～

走査型光学顕微鏡

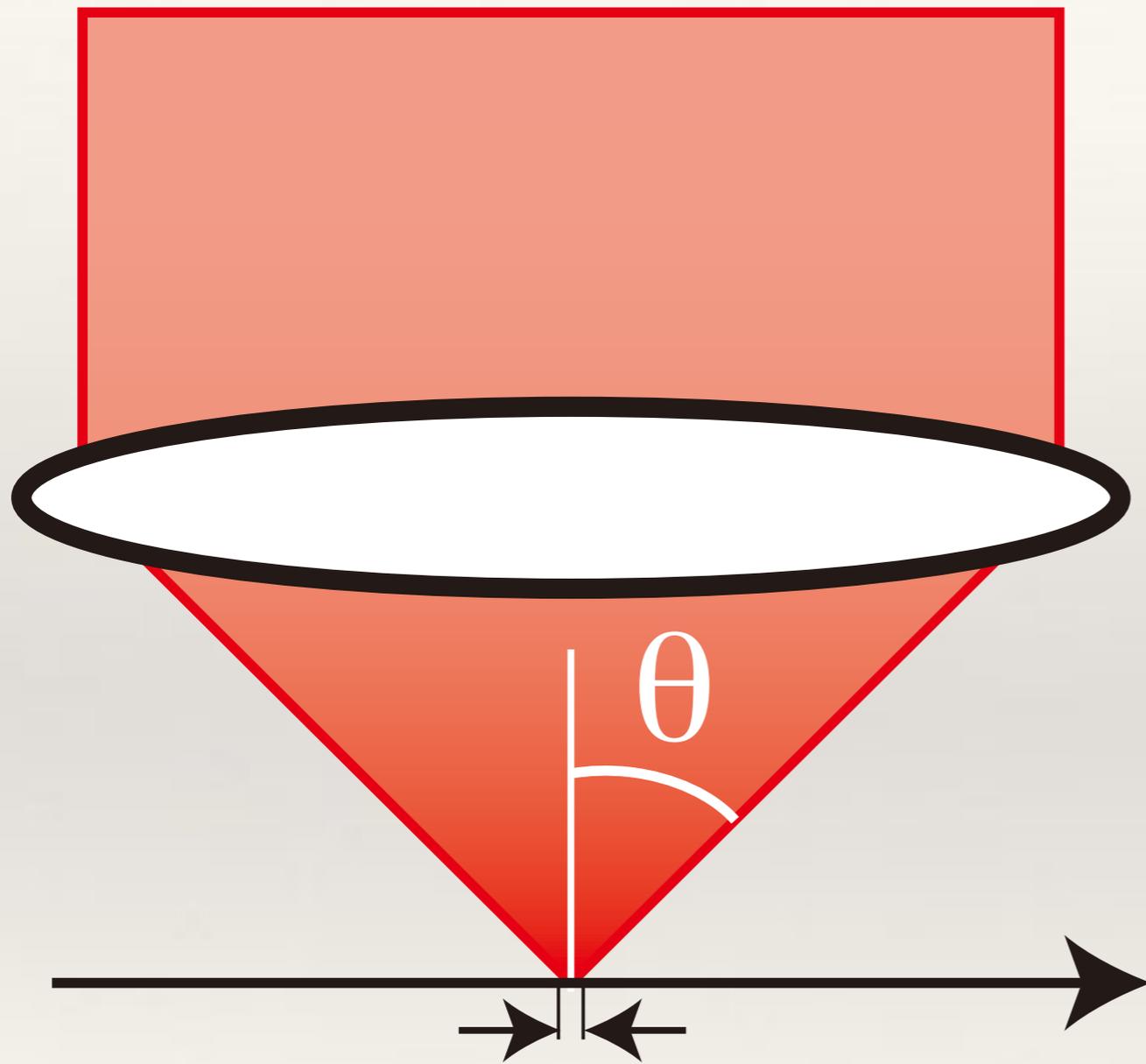


- ❖ 1点1点ずつ観察する
- ❖ レーザー光または試料を動かす
- ❖ コンピューターで画像を表示

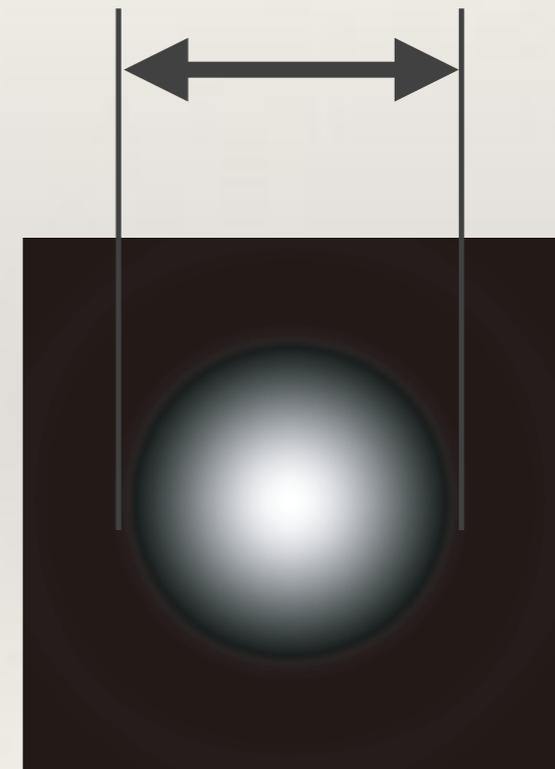
走査して試料を観察する



どこまで小さく集光できるか？

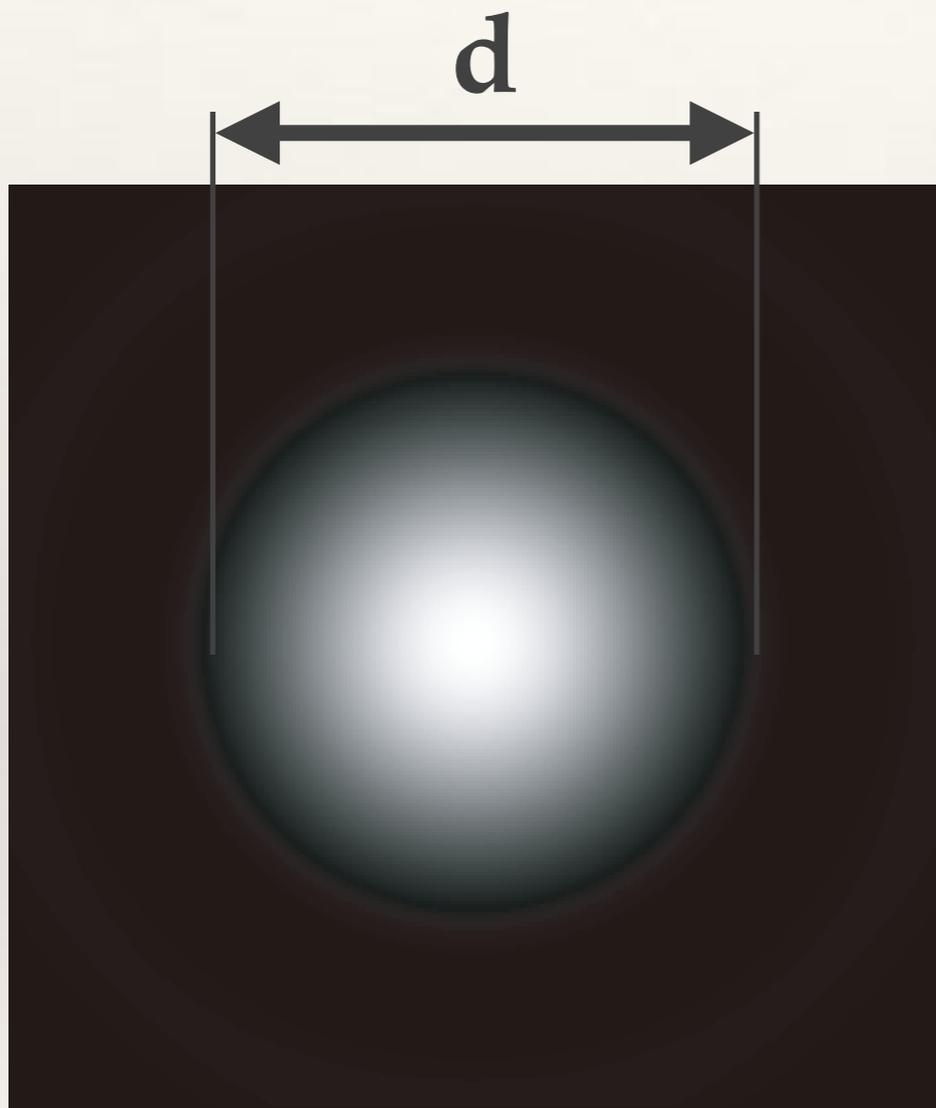


約 500 nm



集光スポット

開口数 (NA: Numerical Aperture)

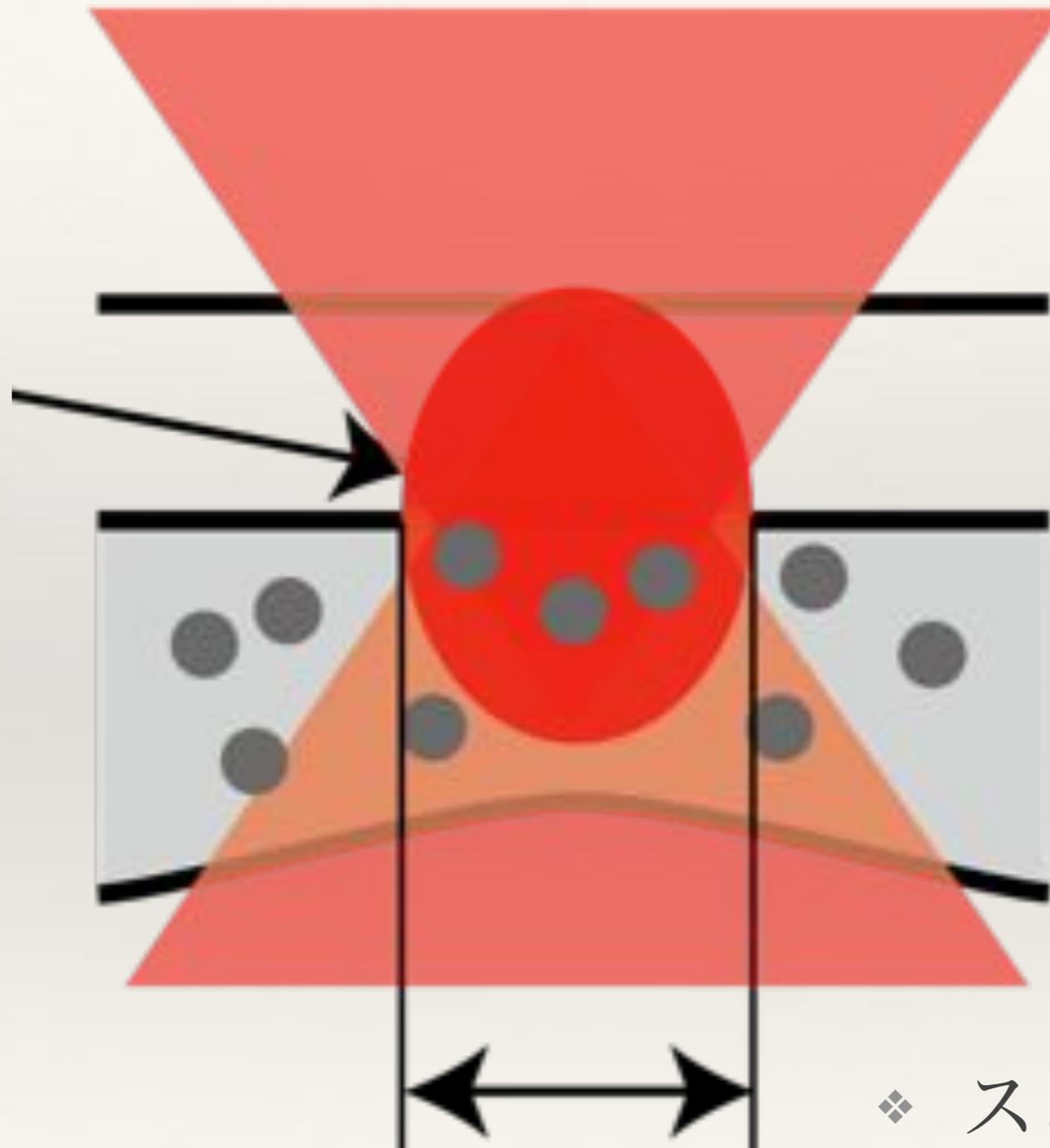


$$NA = \sin \theta = \frac{1}{2F} \quad (\text{F: F 値})$$

$$d = 1.22 \frac{\lambda}{NA} = 2.44 \lambda F$$

集光スポットで見える大きさが決まる

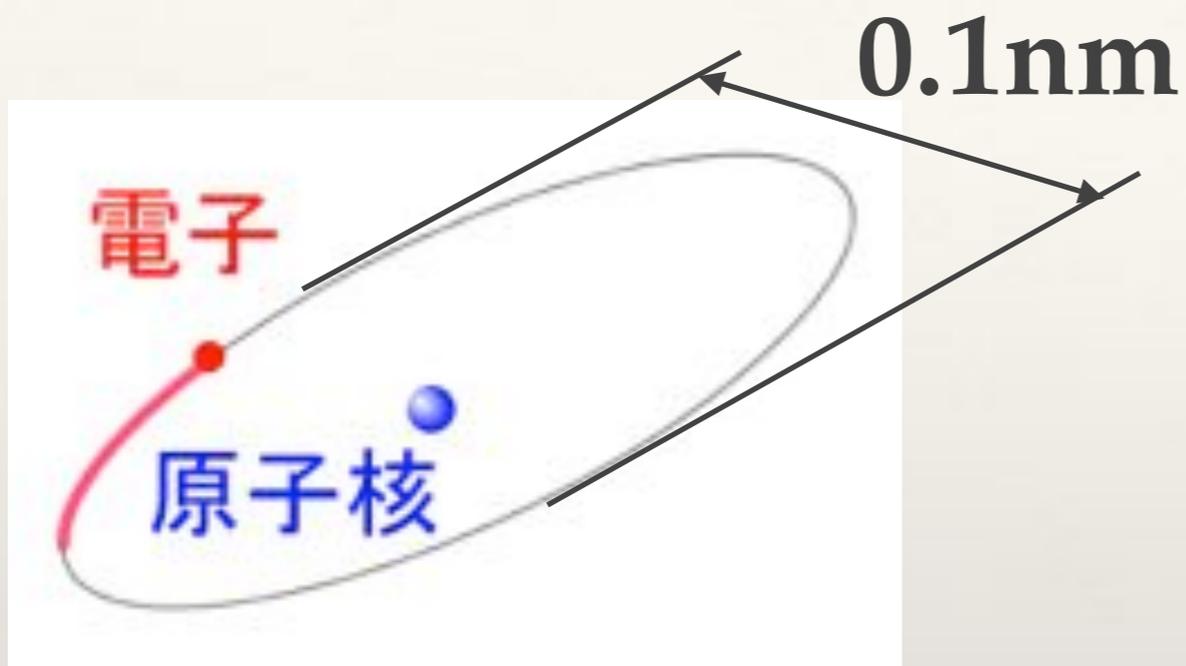
集光スポット



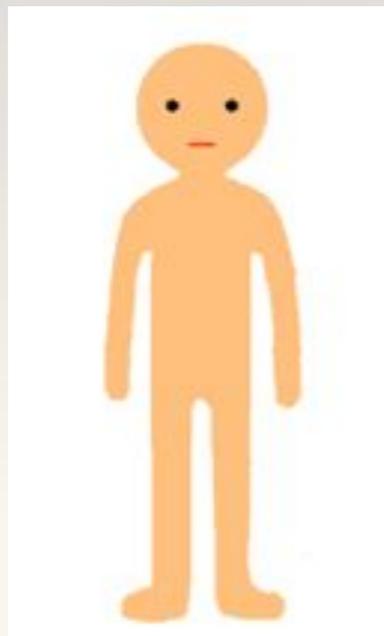
500 nm

❖ スポットより小さいものは見えない

水素原子を見ることが出来る？



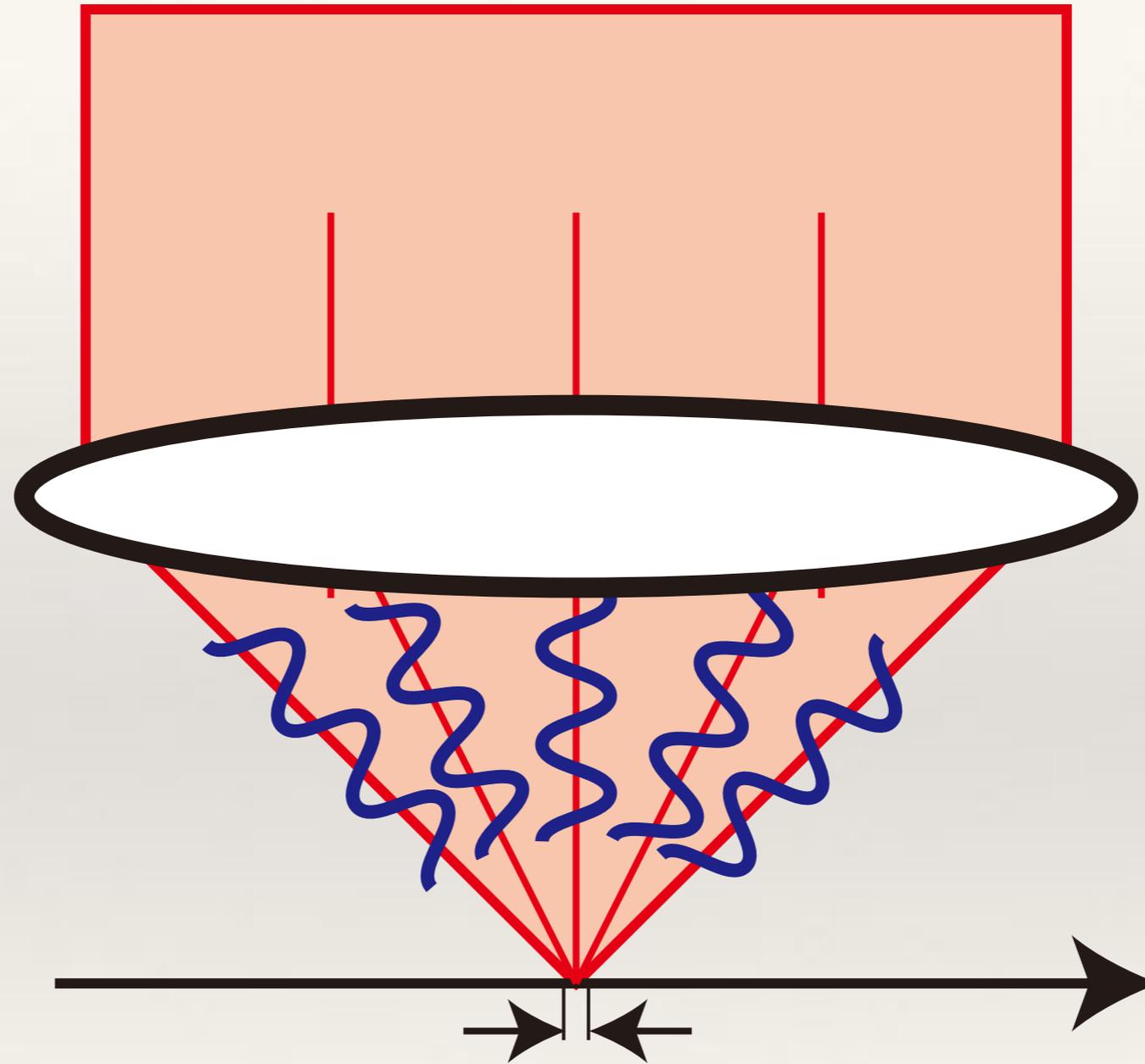
人間: ~2 m



直径 10 km

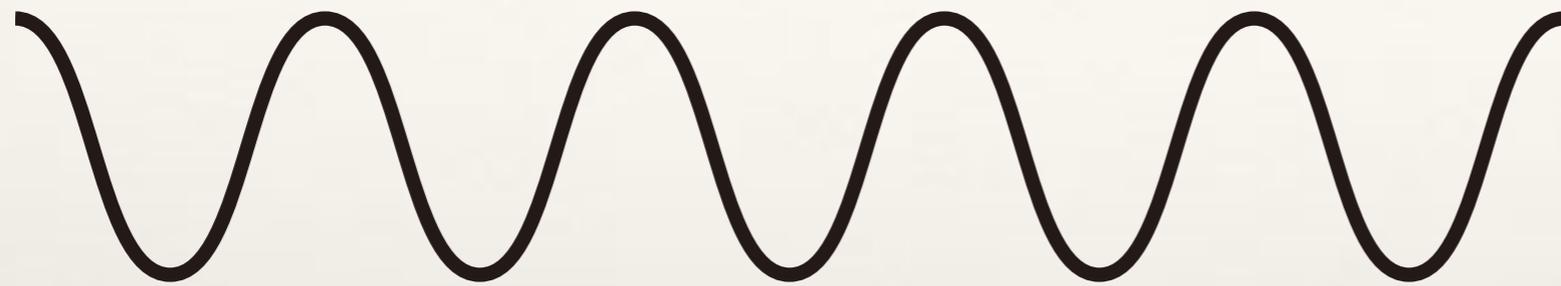


なぜ小さく集光できない？



- ❖ 集光スポットではいろいろな間隔の波の足しあわせ

波を足し合わせる

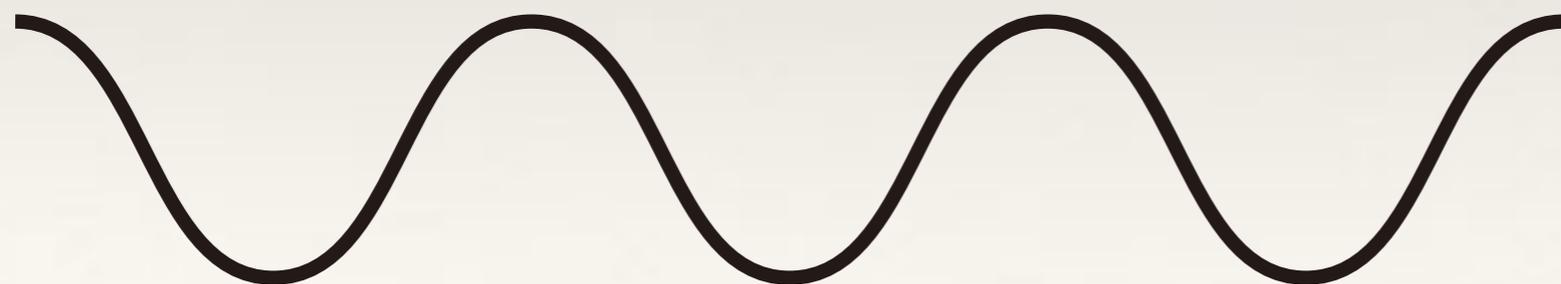


間隔の短い波

+

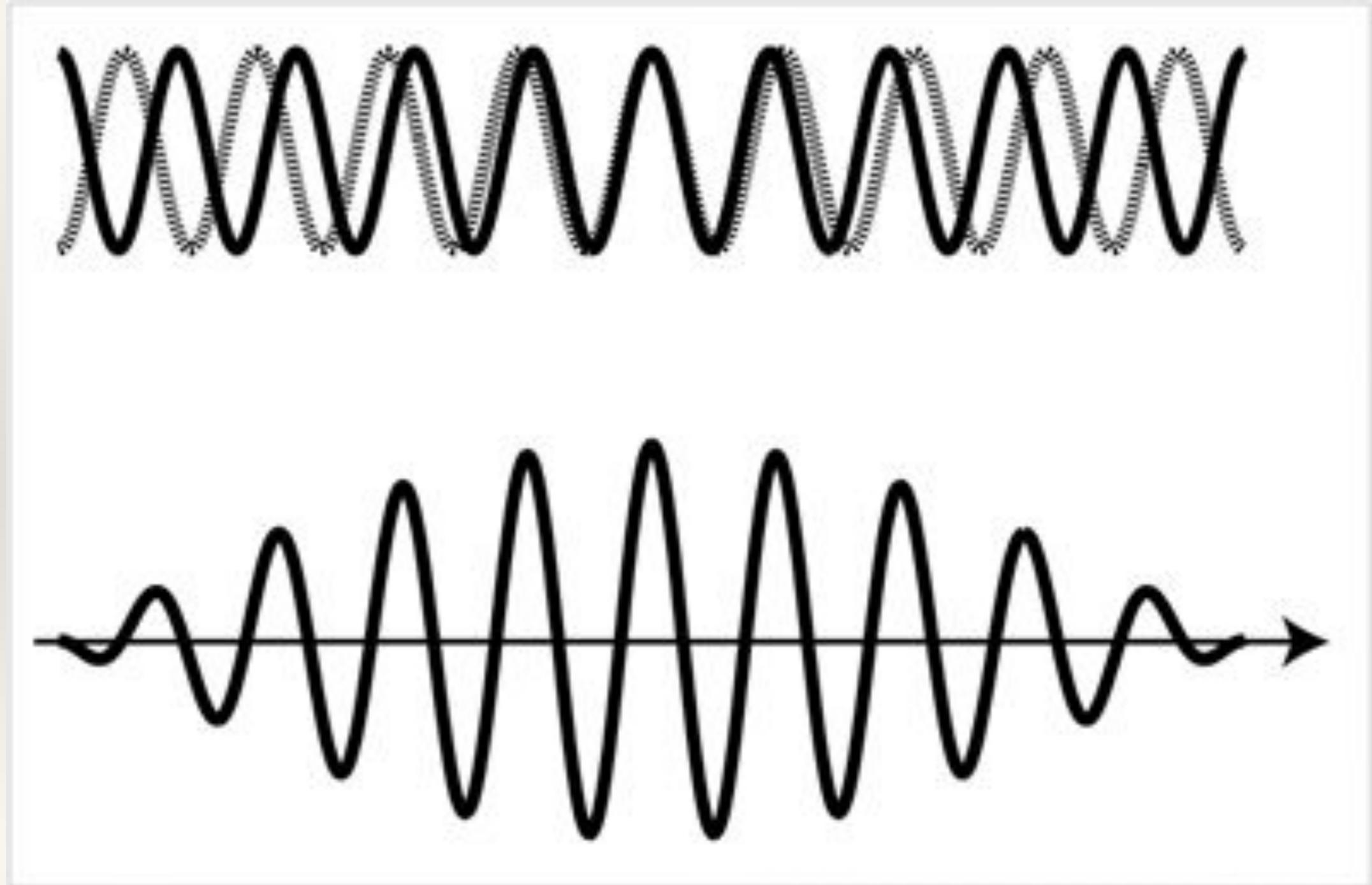


+

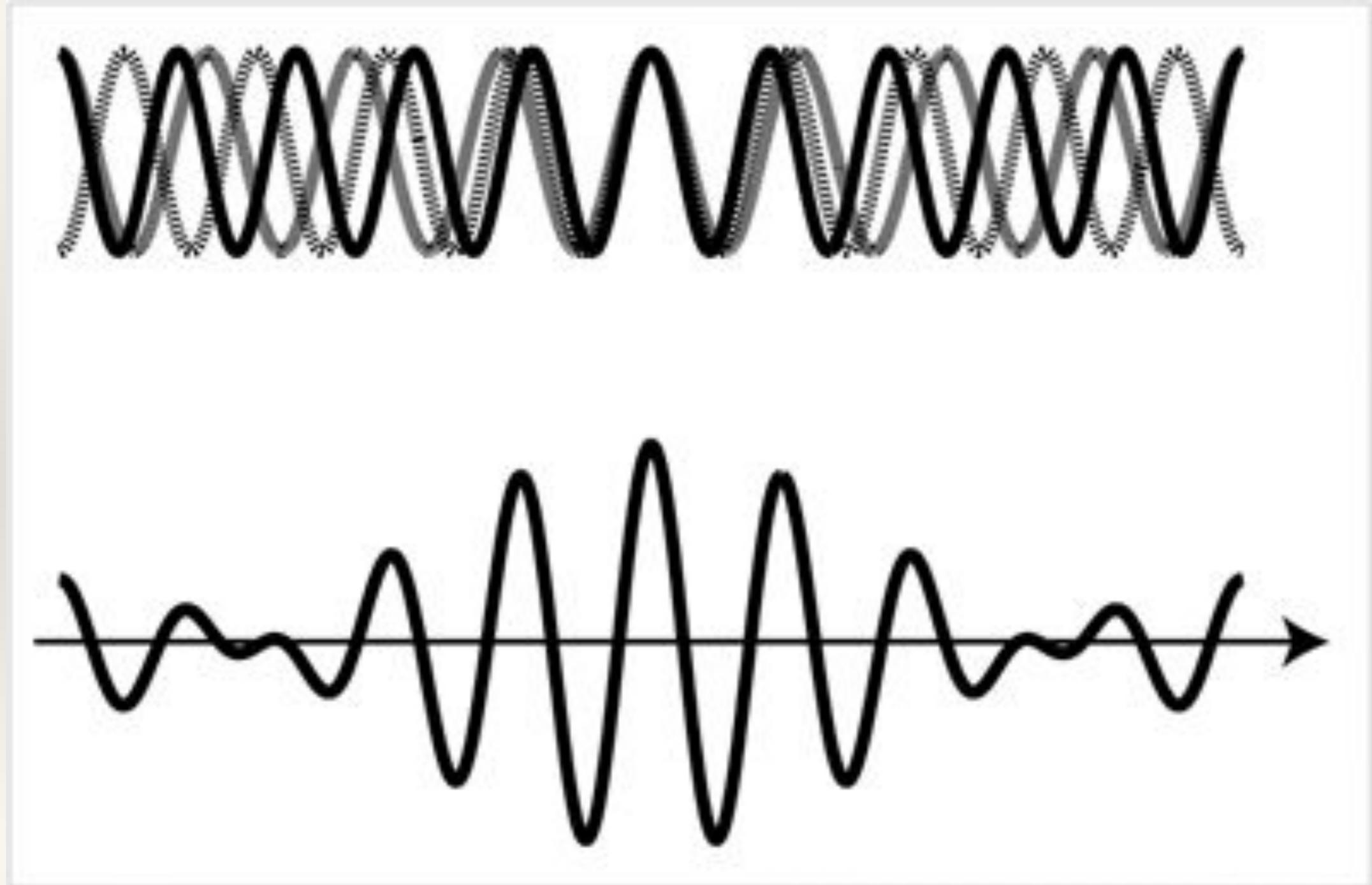


間隔の長い波

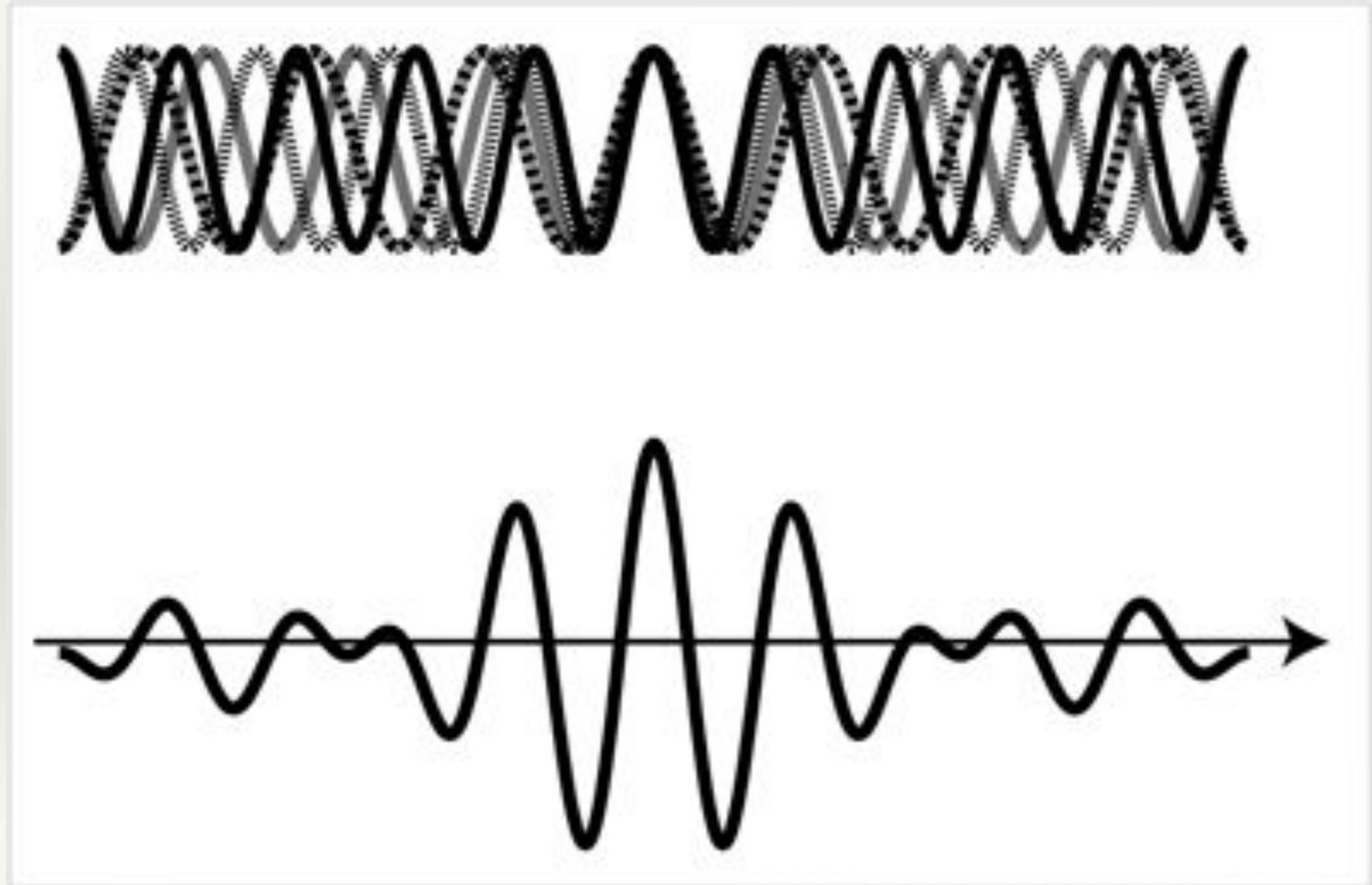
足しあわせた結果



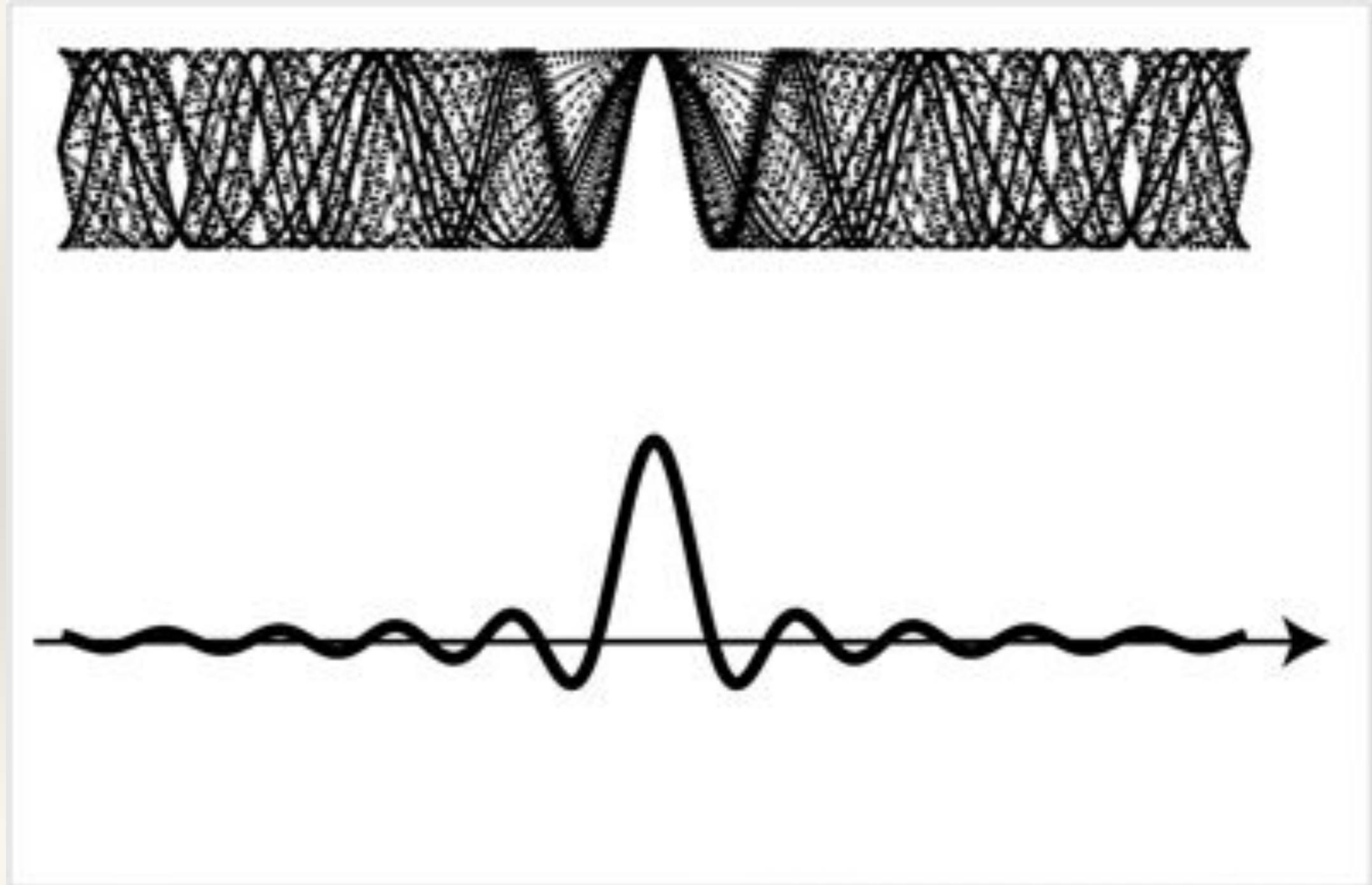
足しあわせた結果



足しあわせた結果



足しあわせた結果



足しあわせた結果



集光スポットは一番短い間隔
までしか小さくできない



足しあわせた結果

回折限界

集光スポットの大きさの限界

分解能

見えるものの大きさの限界

高分解能化の試み

— 小さなスポットをつくる —



波長を短くする

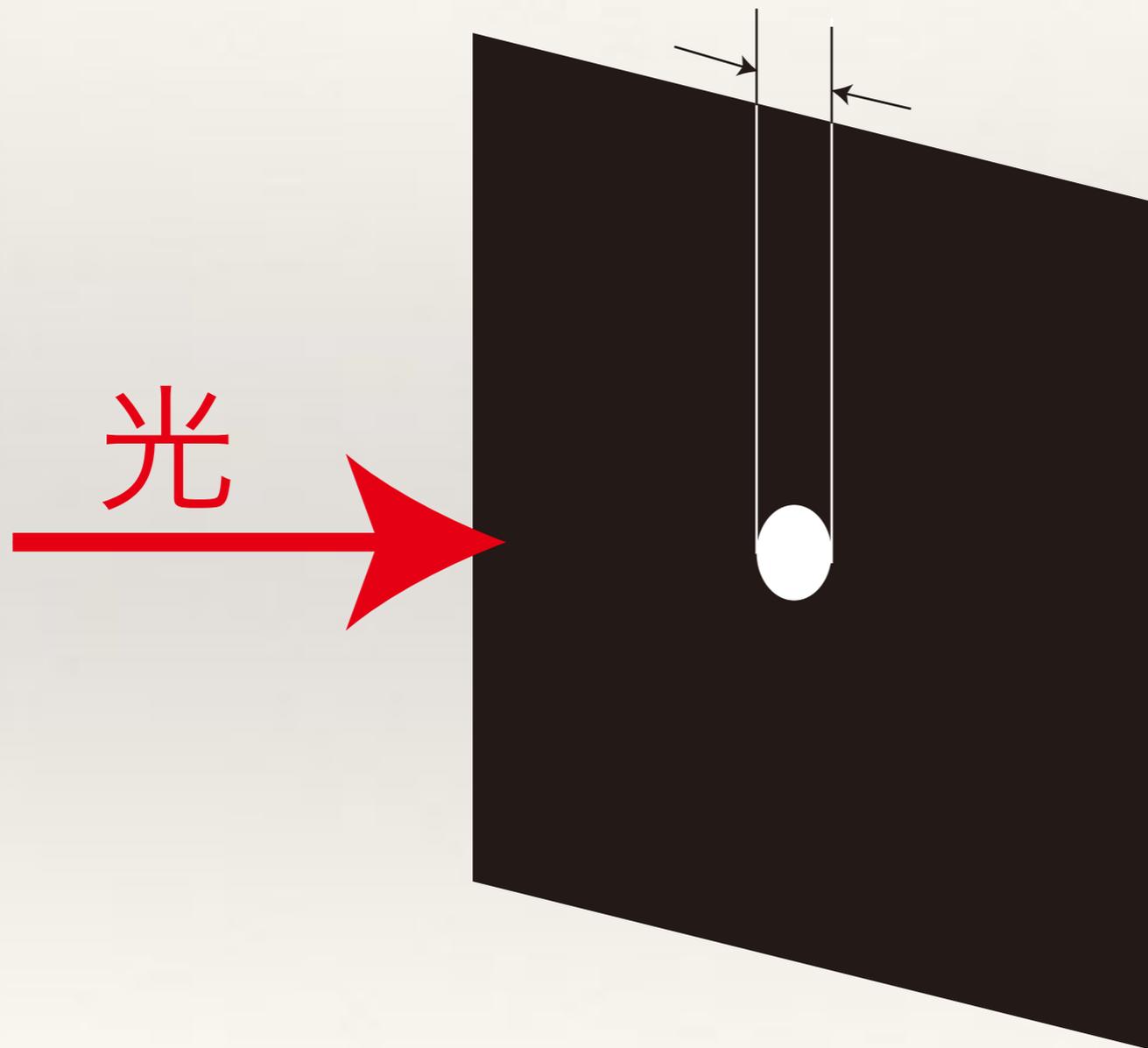
- ❖ 可視光 400～800nm
- ❖ 紫外線 400～10nm
- ❖ エックス線 10nm～0.1nm

分解能が大きくなり向上する。しかし・・・

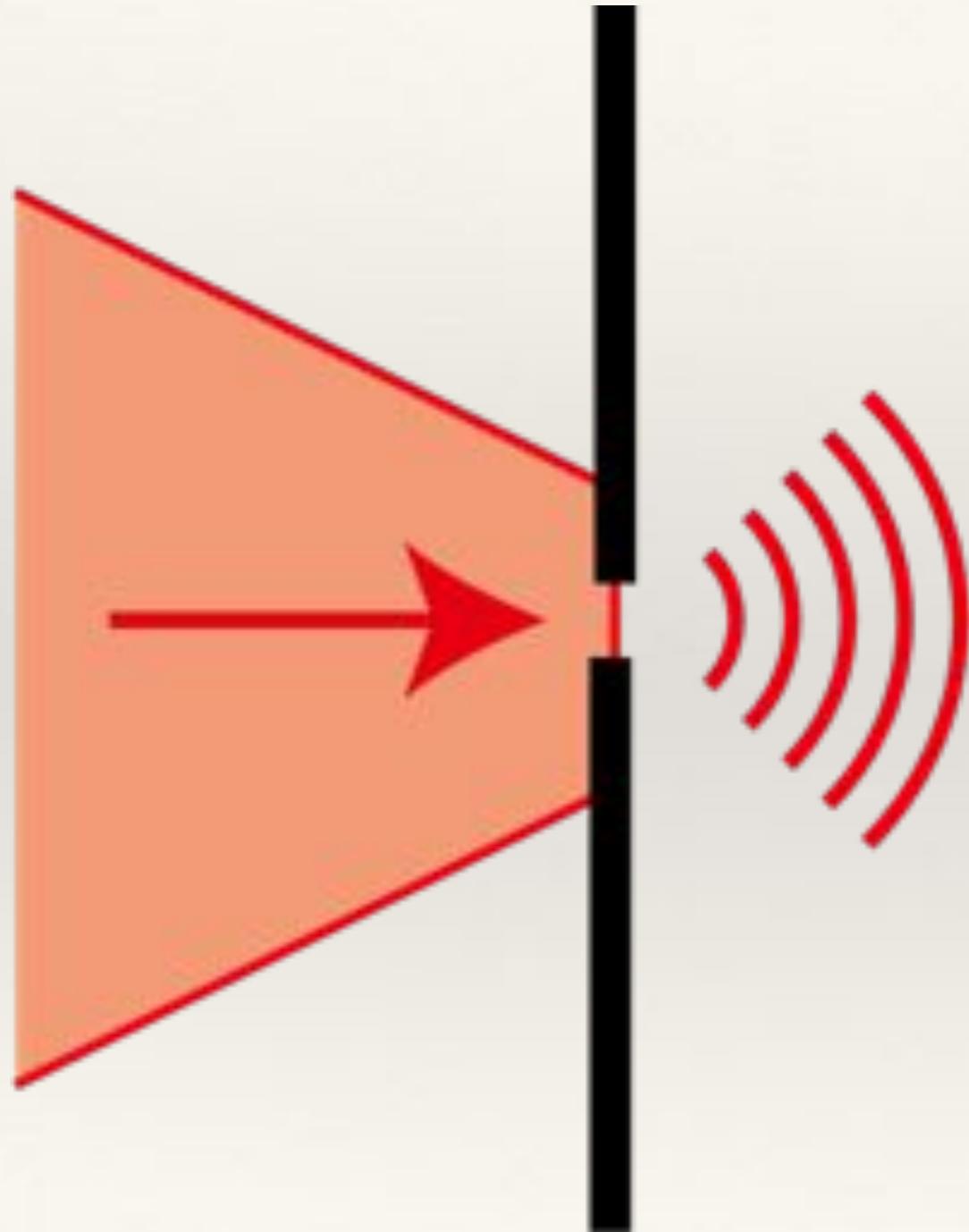
- ❖ 紫外線やエックス線は生物に毒である
- ❖ レンズに使える材料がない
- ❖ 装置が大きい
- • •

小さな穴（開口）を通して観察する

穴の大きさ \ll 波長

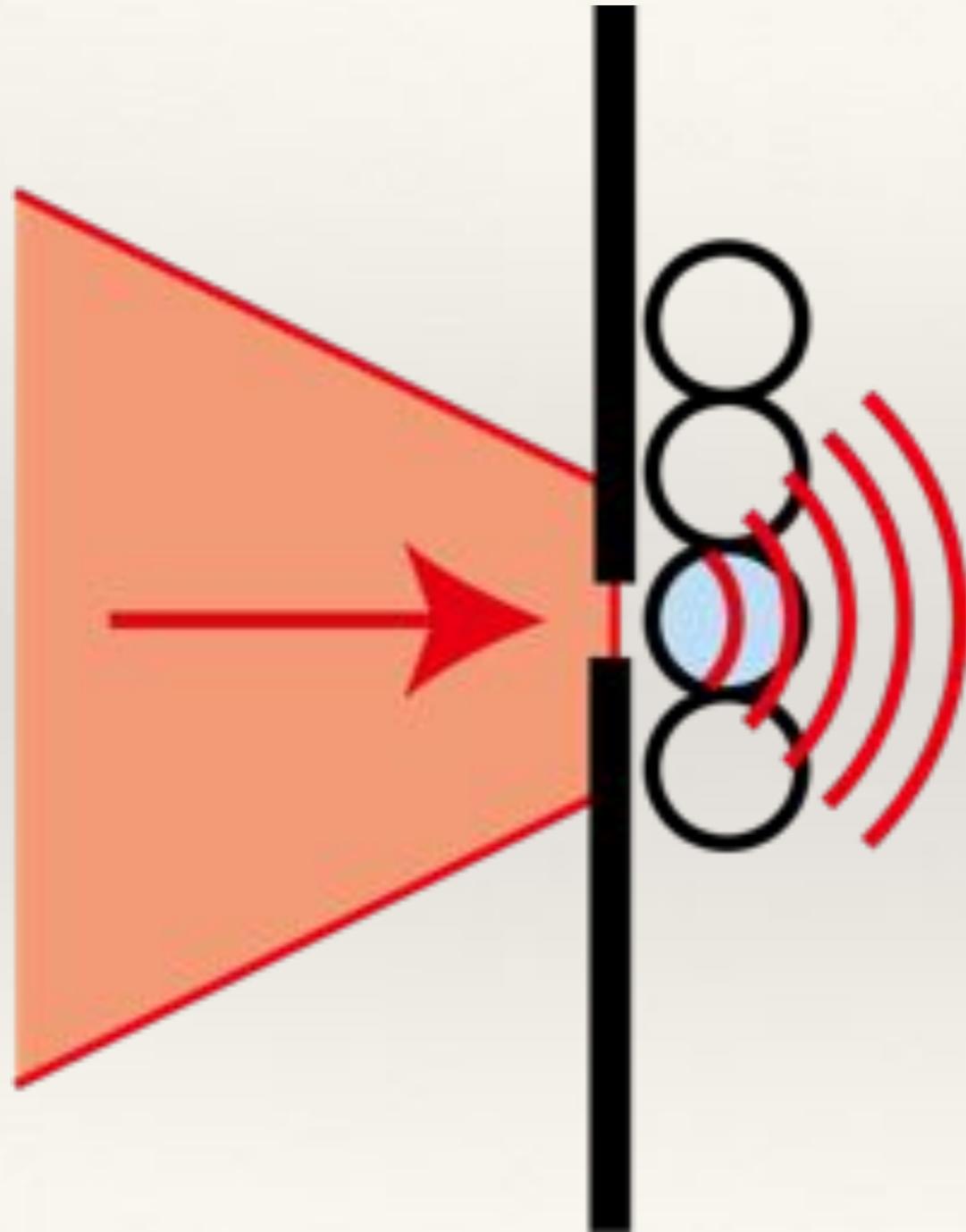


小さな穴（開口）を通して観察する



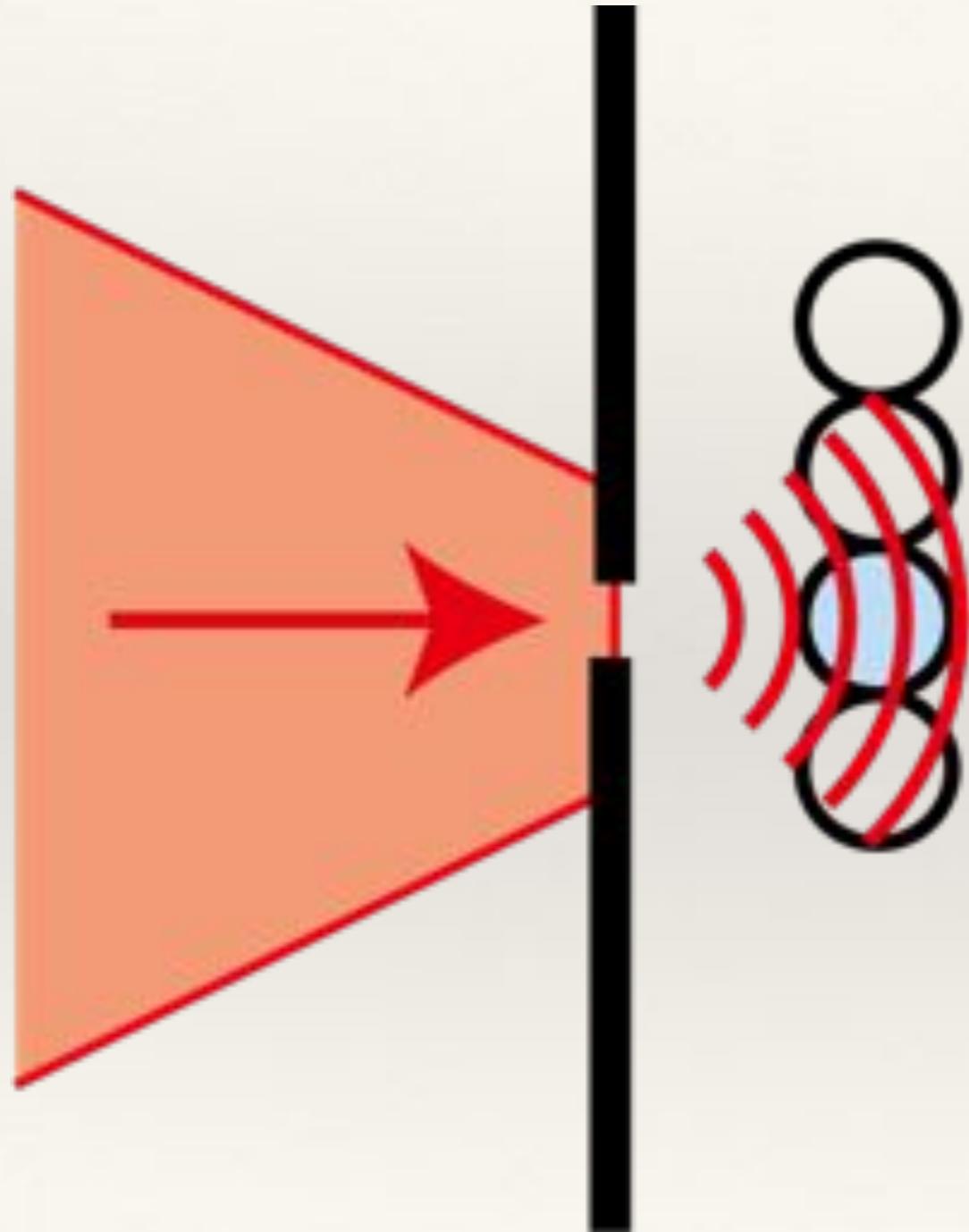
- ❖ 穴から漏れた光はすぐに拡がる
- ❖ 試料が穴に近い時は一部にのみ光が当たる
- ❖ 距離が離れるとスポットが拡がり、分解能が落ちる

小さな穴（開口）を通して観察する



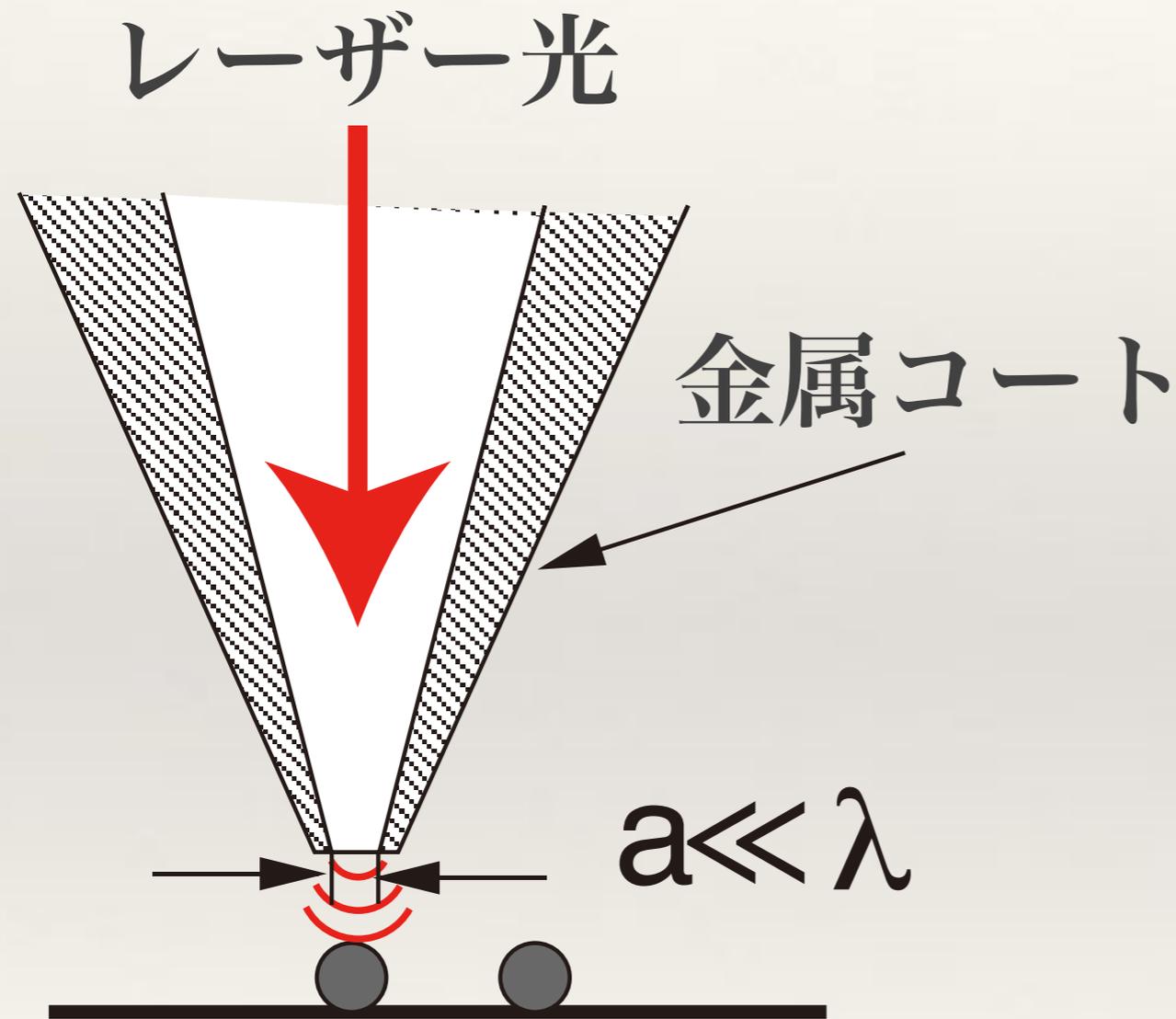
- ❖ 穴から漏れた光はすぐに拡がる
- ❖ 試料が穴に近い時は一部にのみ光が当たる
- ❖ 距離が離れるとスポットが拡がり、分解能が落ちる

小さな穴（開口）を通して観察する



- ❖ 穴から漏れた光はすぐに拡がる
- ❖ 試料が穴に近い時は一部にのみ光が当たる
- ❖ 距離が離れるとスポットが拡がり、分解能が落ちる

近接場光学顕微鏡

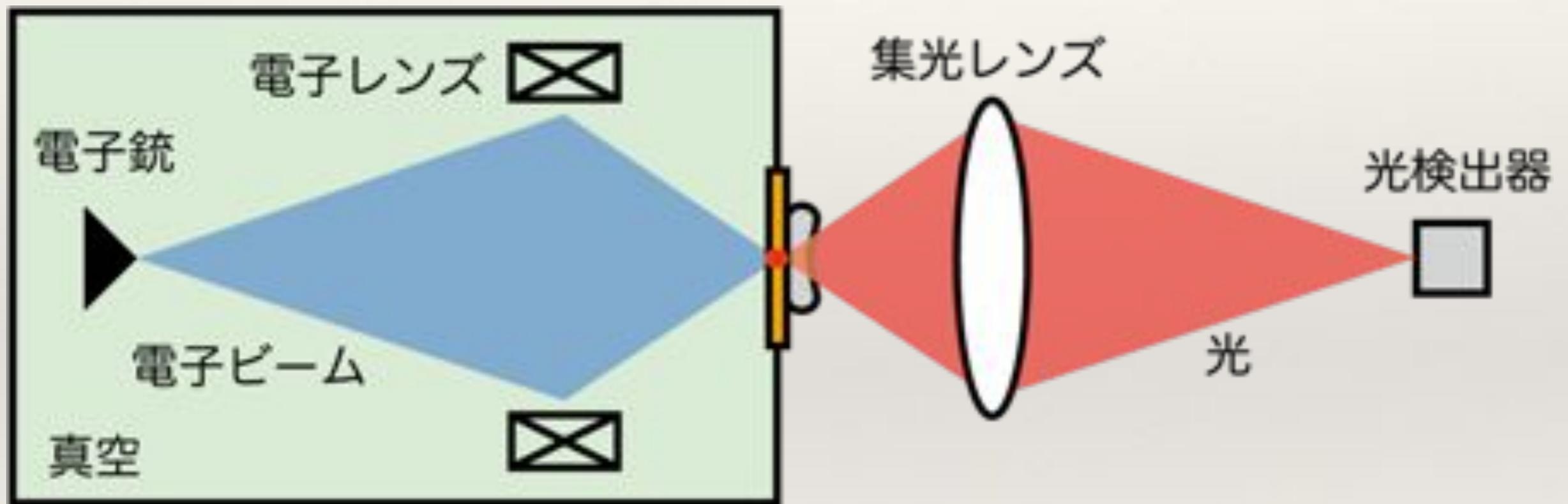


- ❖ 開口と試料の間隔を十分小さくする
- ❖ 試料の表面近傍を開口を走査する
- ❖ 近接場プローブと呼ぶ

電子線で小さなスポットをつくる

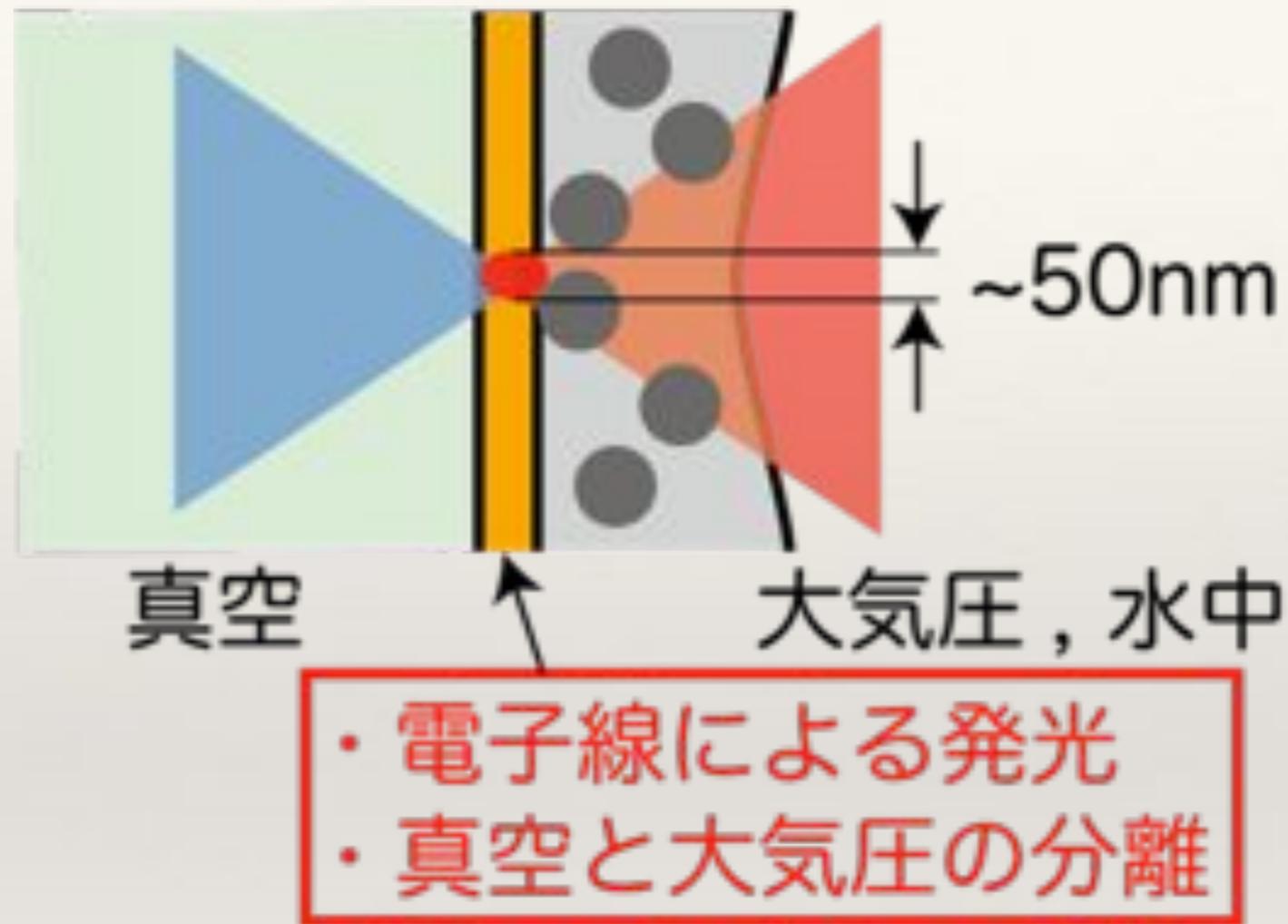
— EXA顕微鏡 —

EXA 顕微鏡



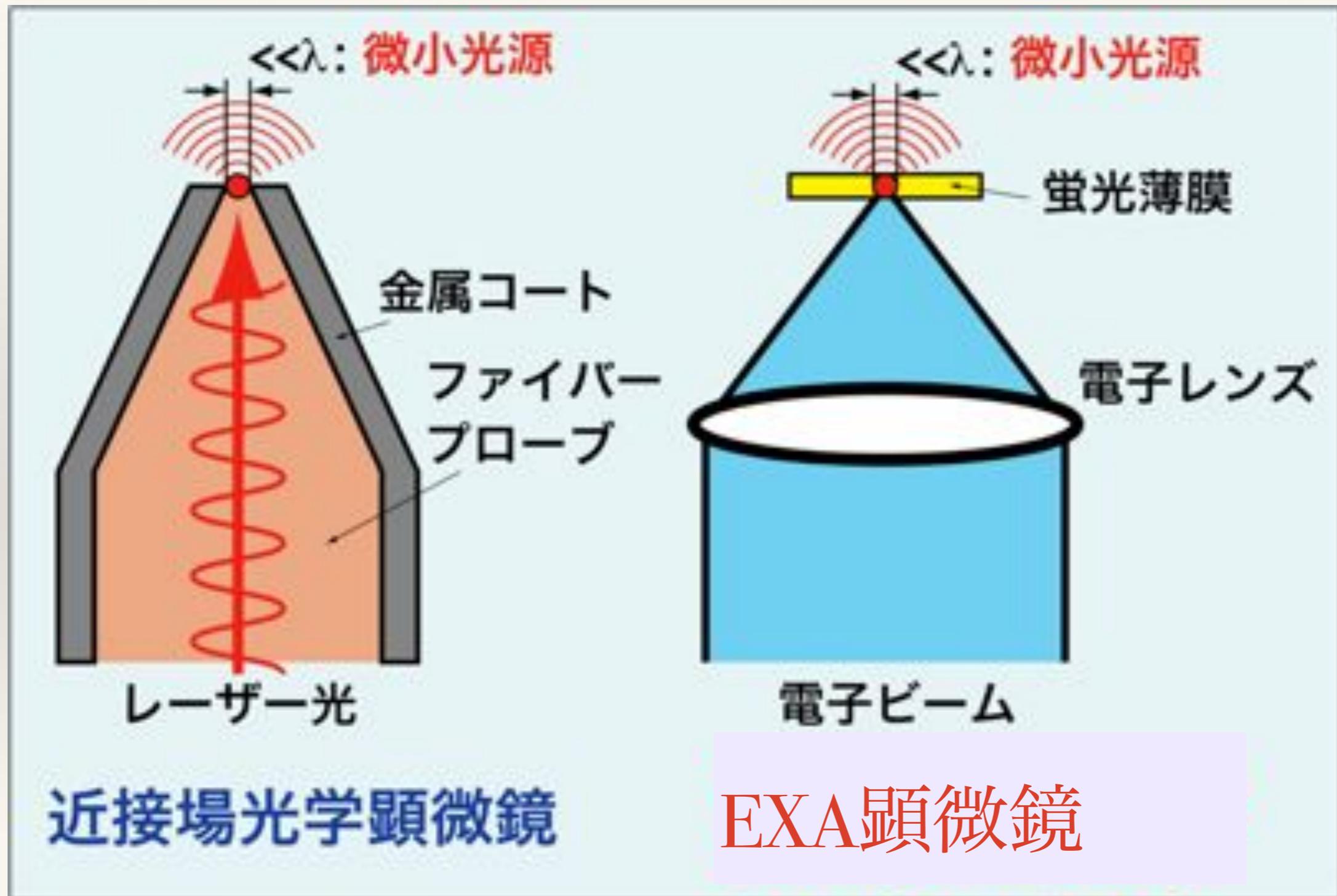
電子線で微小な光スポットを励起する

EXA顕微鏡の特徴



1. 電子線を照射して**微小な光スポット**を形成
2. 試料に優しい**光**で観察
3. 発光膜で真空と大気圧を分離する — **試料側は大気圧**

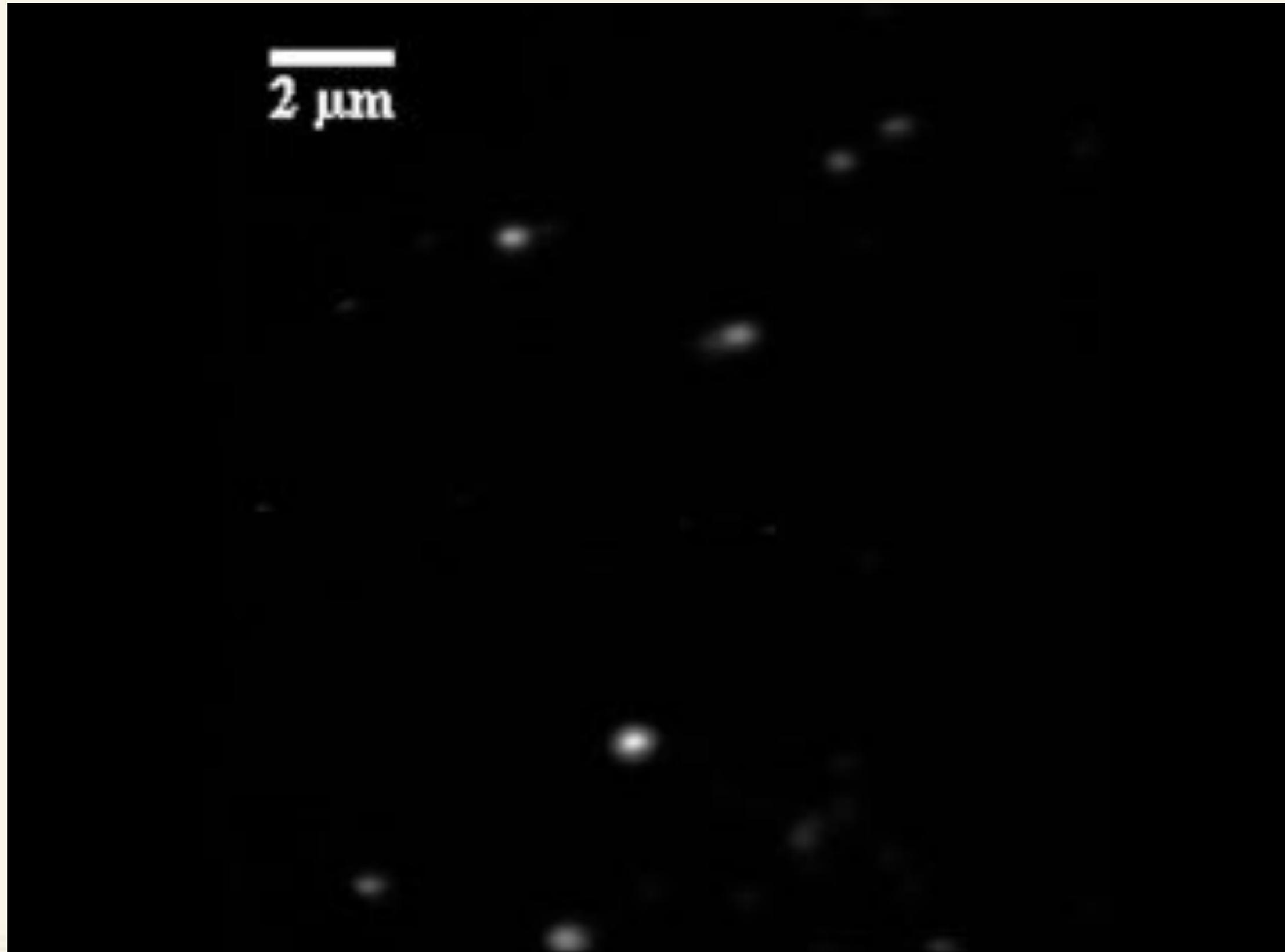
近接場顕微鏡との対応



EXA顕微鏡による観察

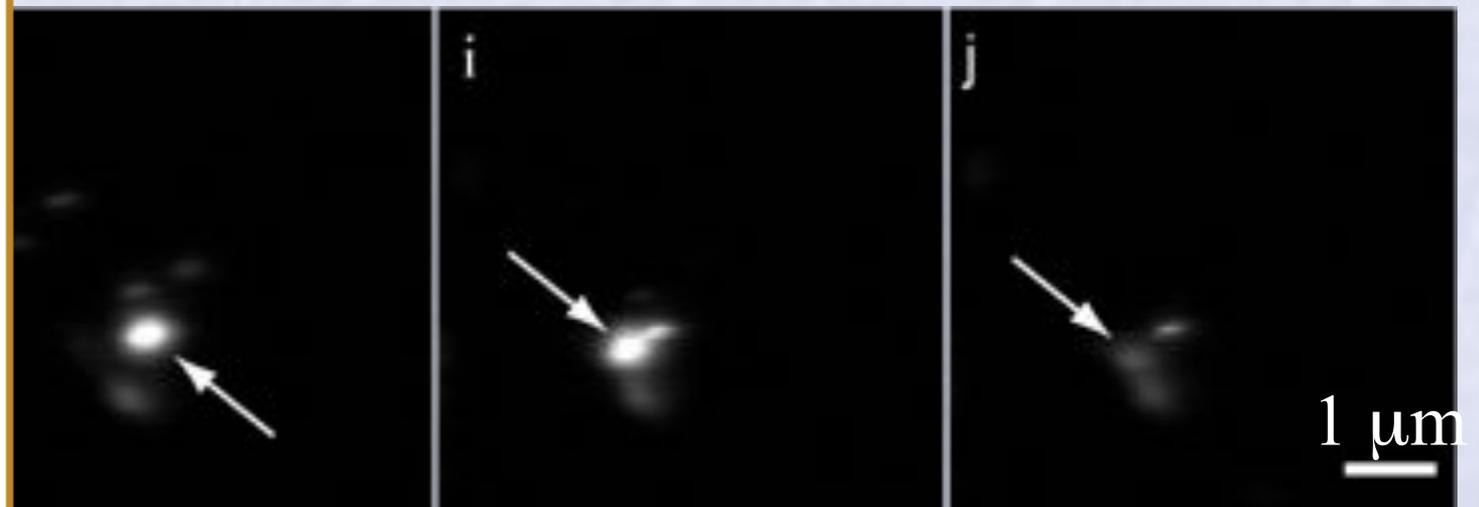
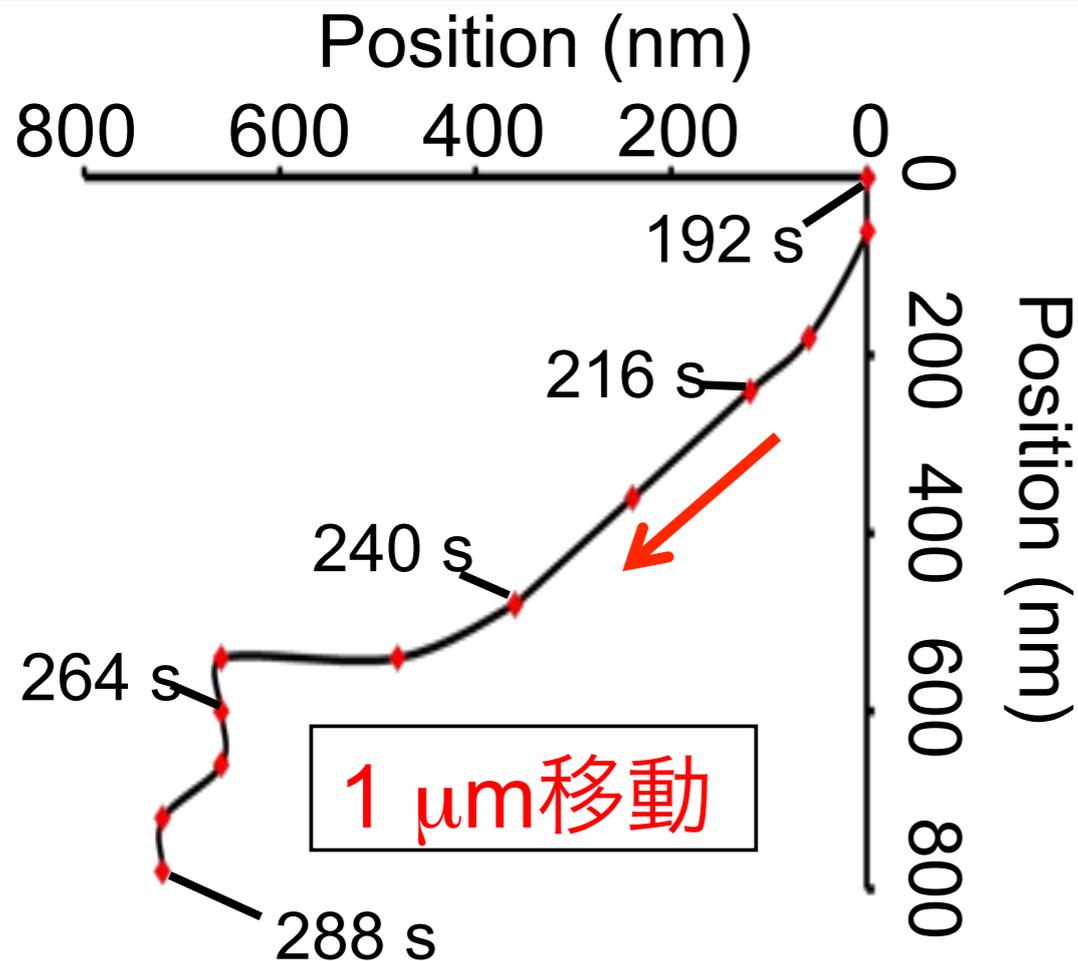
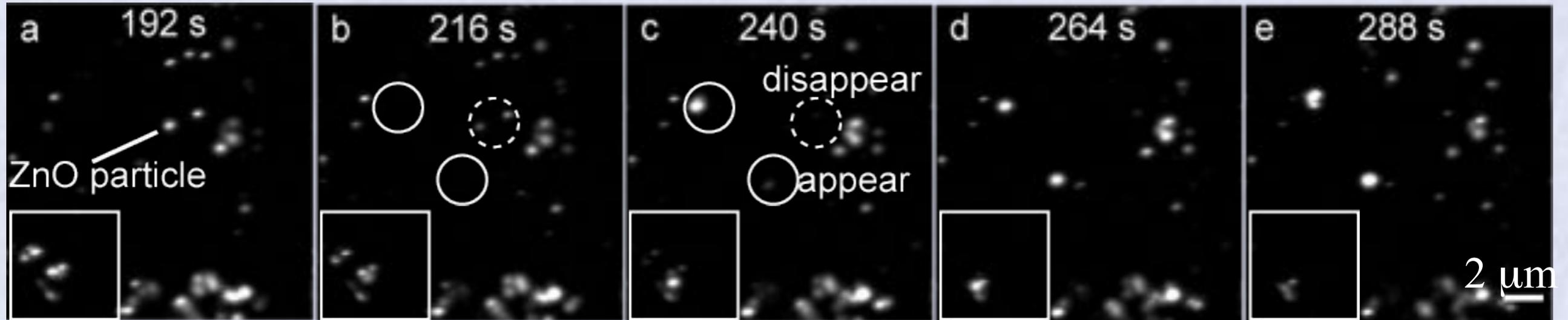


ZnOの水中での動き



ZnOの動態解析

- 電子線は薄膜表面に集束している → 薄膜近傍の粒子のみが観察される



生きた細胞の細胞内微小物質の
動態観察に応用できる

応用できる分野



本装置で可能なこと

～ 分解能–数10nmの構造の観察

- ・タンパク質の構造観察、イオンチャンネルの観察、神経細胞内の伝達物質の解析、・・・

～ 大気圧、液中での観察

- ・液晶、コロイド溶液の観察、微結晶の解析・・・

～ 光による観察

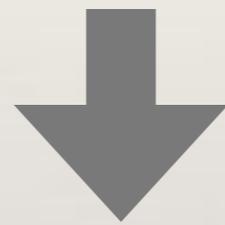
- ・試料の非破壊・非浸襲計測
- ・分光手法、時間分解計測手法との組み合わせによる定性分析

まとめ

光学顕微鏡の生物観察における多くの技術



電子顕微鏡の高い空間分解能



従来の光学顕微鏡の限界を克服した
世界初の“EXA顕微鏡”の原理試作に成功

医学・薬学、バイオ・ナノ分野での
科学技術進展への道具に育てる

ご清聴ありがとうございました



ご清聴ありがとうございました

