

2019.8.12 オープンキャンパス

物理に光を

物理学科

徳永 研究室

光物性: 光と物質の相互作用を解明し、
光を人類のために役立てる

光を
光で
光で
光で
光を
光を
光で
光で
光で
光で
光で
光で
光で
光で
光で

光をエネルギーにする
光で見る(透視する・拡大する)
光で物質を探る(分光)
光で物体を操作する
光を操る
光を分ける、くっつける
光で記録する
光で情報を送る
光で時間を測る(10^{-15} 秒)
光で化学変化
光で冷やす
光で加工する
光で病気を治す

光の利用

情報

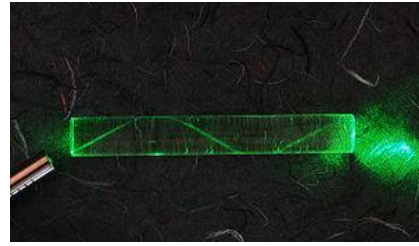
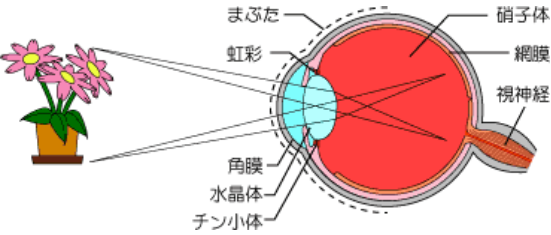
視覚

照明

光通信

光メモリ

量子情報処理



エネルギー

光合成

太陽電池

光触媒

力(運動量)

光ピンセット

光冷却

ソーラーセイル



計測手段

分光測定

ニュートリノ検出

光トポグラフィー

20世紀は電子(electronics)の時代



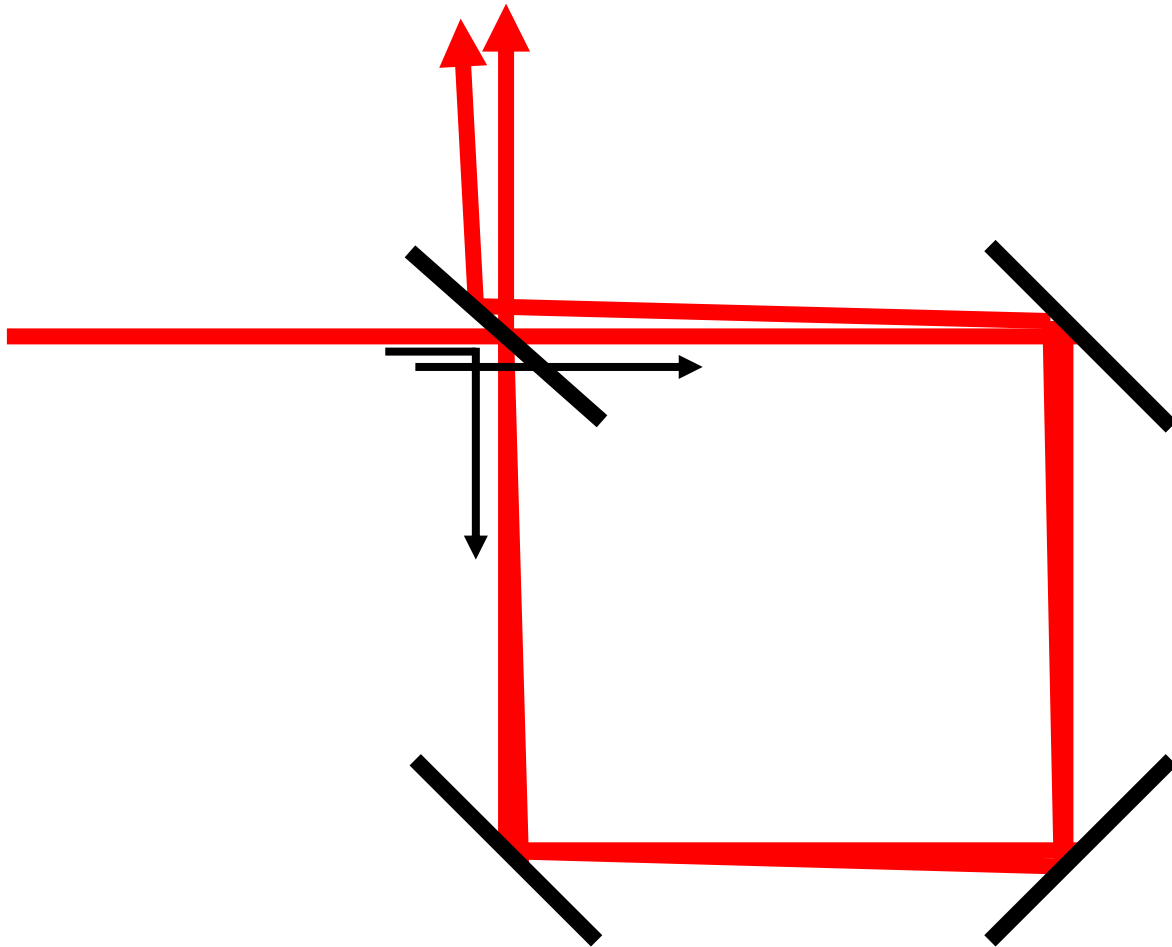
21世紀は光(photonics)の時代

光とは何か？

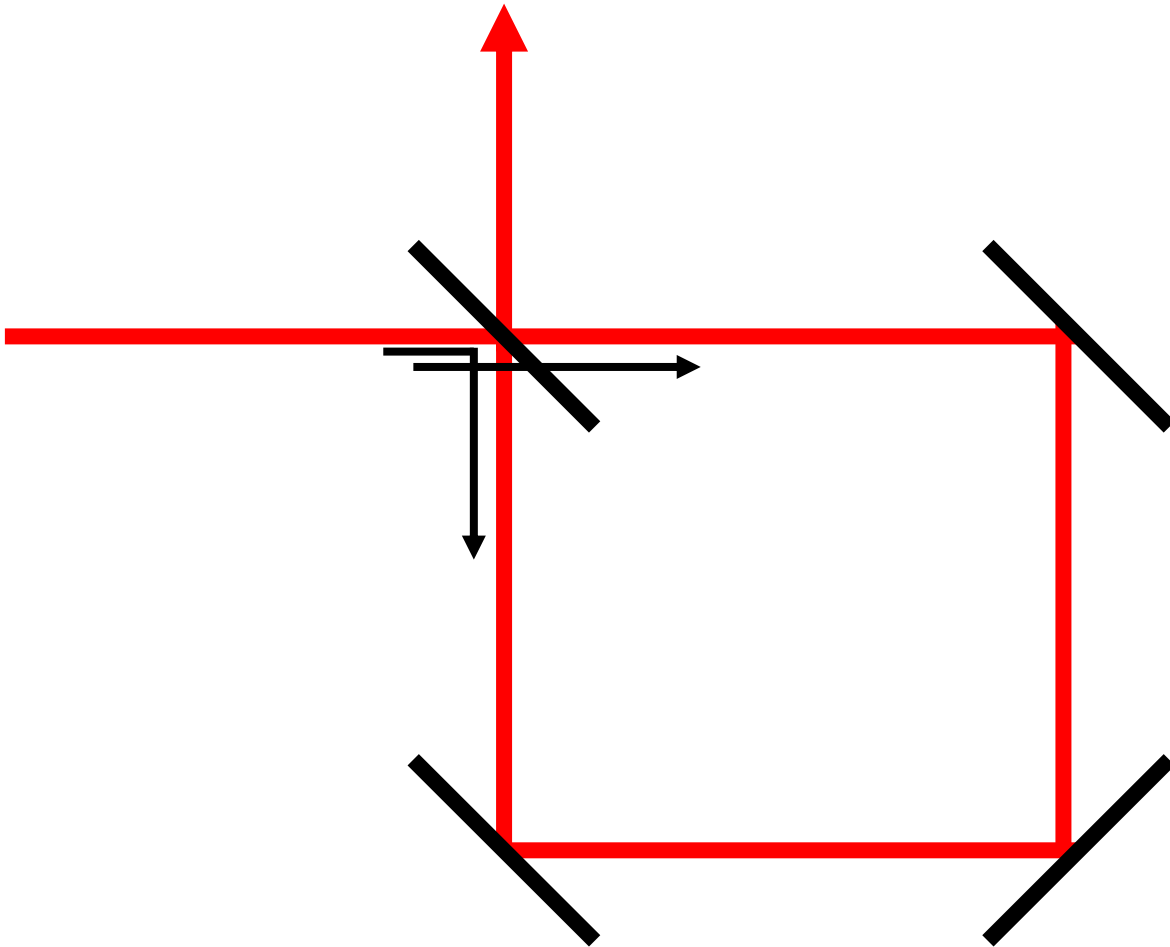
この謎の解明に挑む = 物理学の歴史

$$1 + 1 = ?$$

Sagnac 干涉計



Sagnac 干涉計

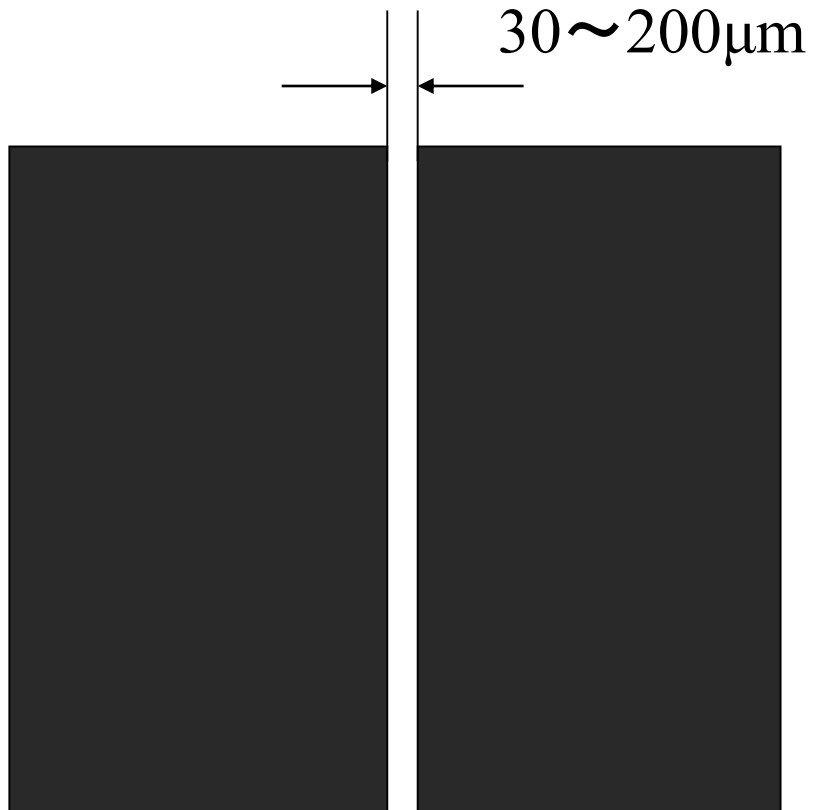


$$1 + 1 = 0 !$$

なぜ？

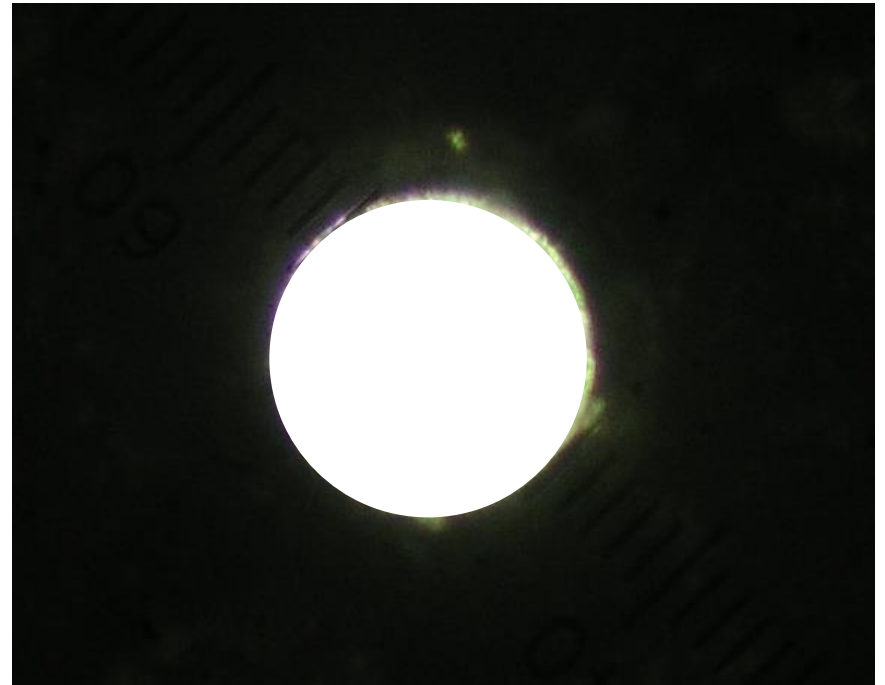
光を小さな隙間、穴に通すと
どうなるか？

可変スリット



円形開口

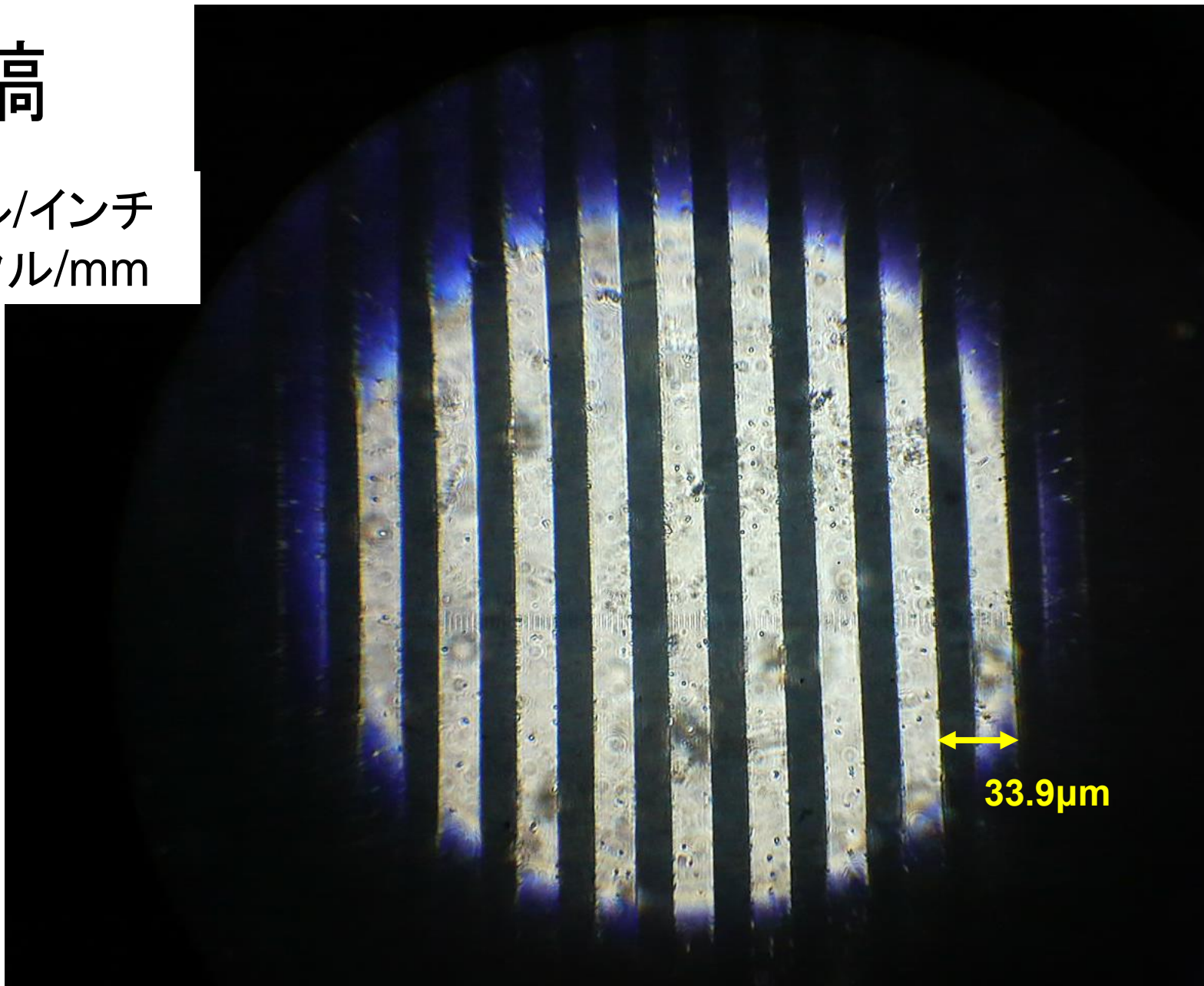
直径350 μm のピンホール



縦縞

750サイクル/インチ
29.52サイクル/mm

1周期
33.9 μ m



なぜ狭いほど広がるのか
繰り返しパターンはなぜ生じる
のか？

0.1 mm

2

— 20 μ m

— 20 μ m

2014-8-8

2014-8-8

0.1 mm

1

— 20 μ m

— 20 μ m

0.01 mm

2014-8-8

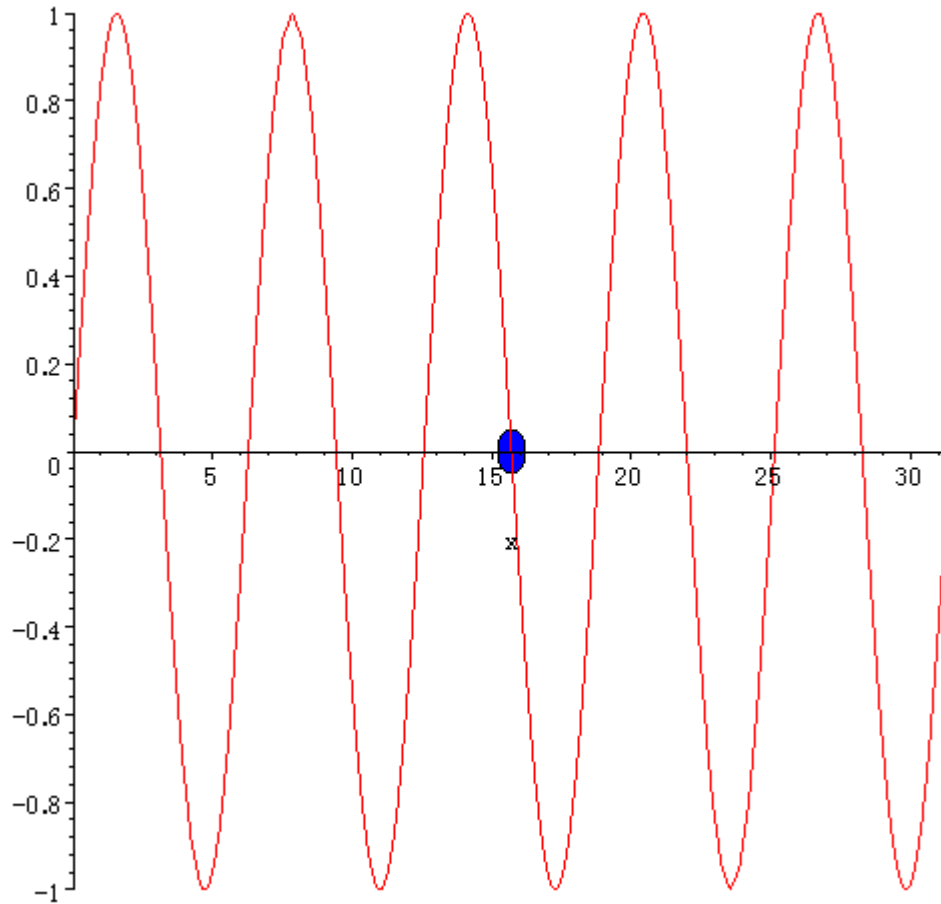


X線回折
(高校3年物理)

坊ちゃんが
東京物理学校(理科大)
を卒業した頃
物理学の最先端

現在 学生実験
(大学3年生)

光とは 波 である

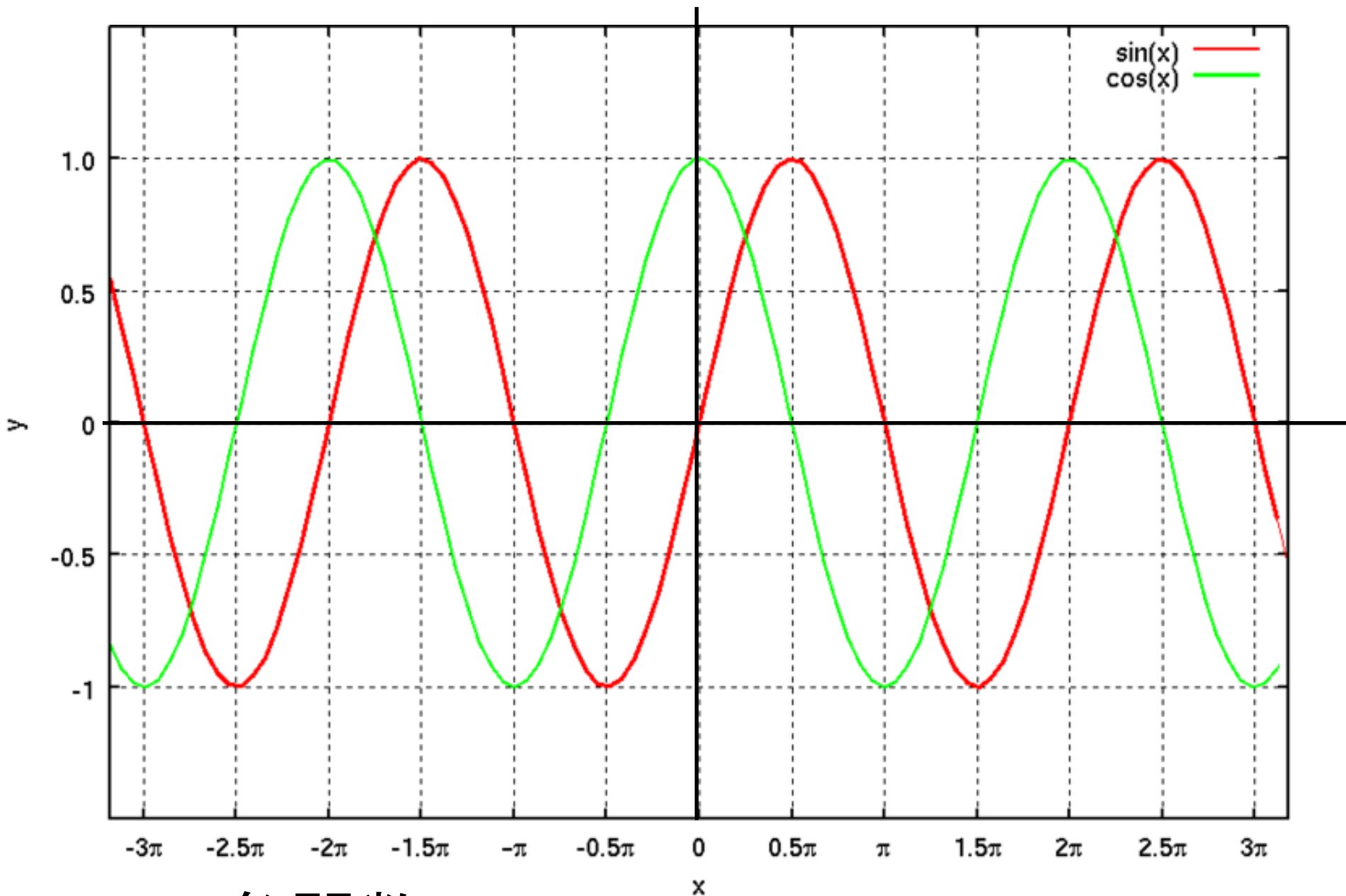


空間分布パターンが伝播する現象
典型的には 振動 の伝播

三角関数 (= 円関数)

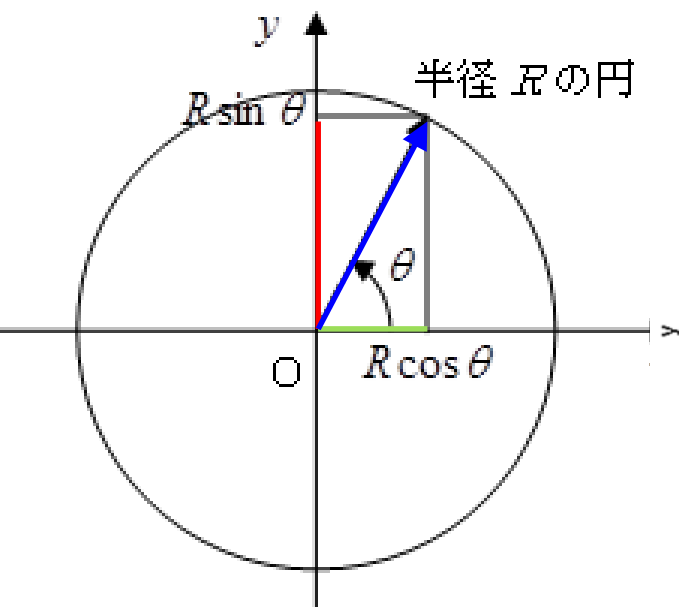
$\sin x$

$\cos x$



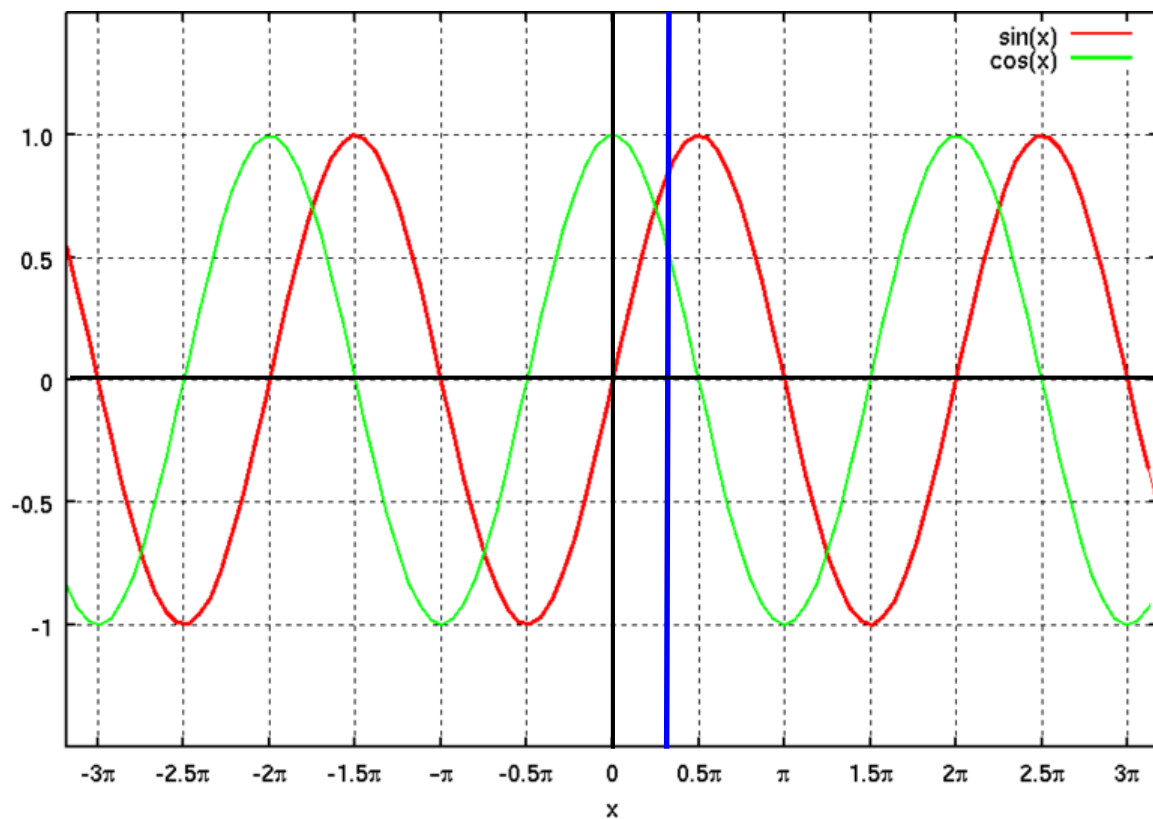
三角関数 $\sin x$ $\cos x$

$\pi = 180^\circ$

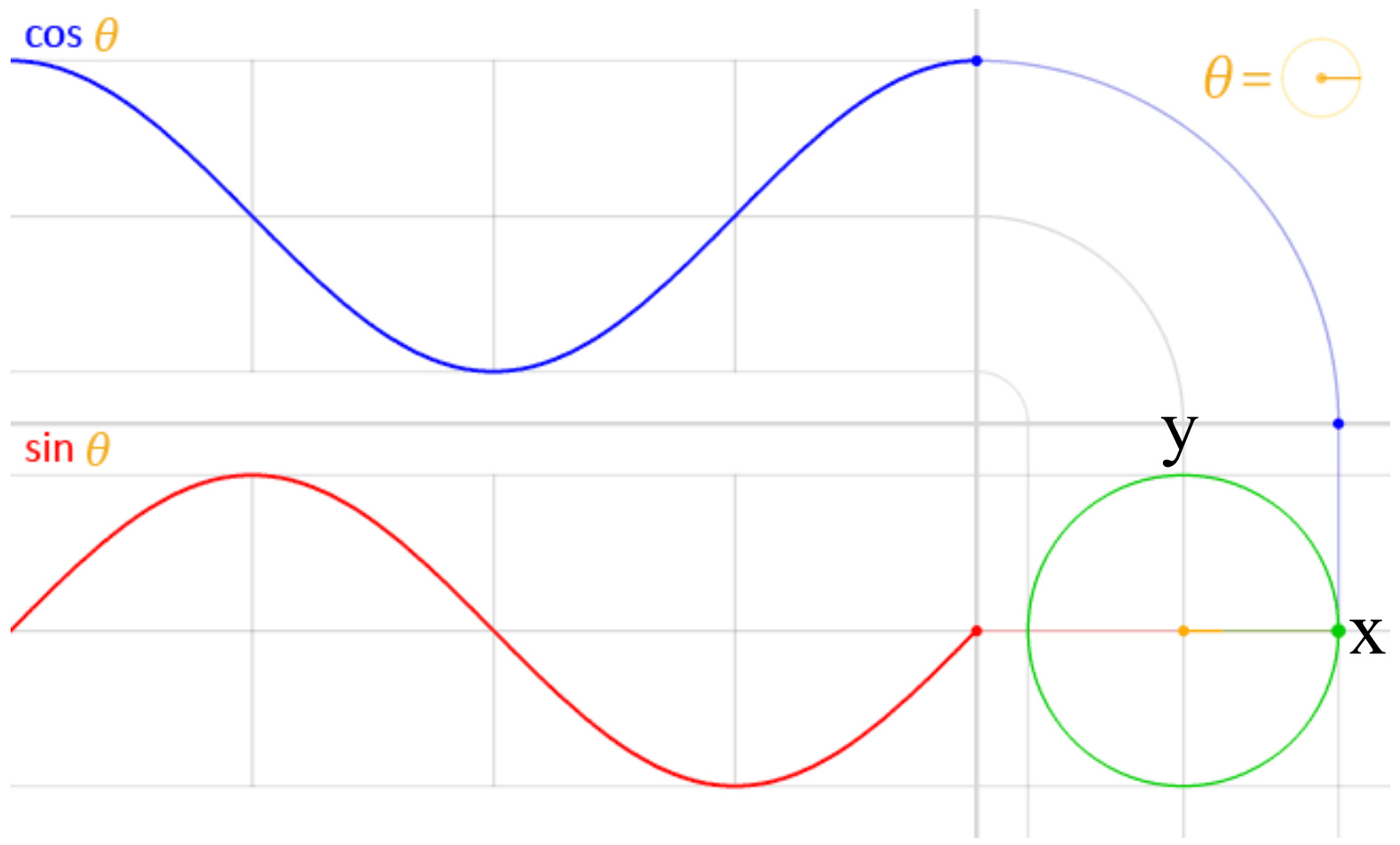


$R=1$

横軸 $x = \theta$

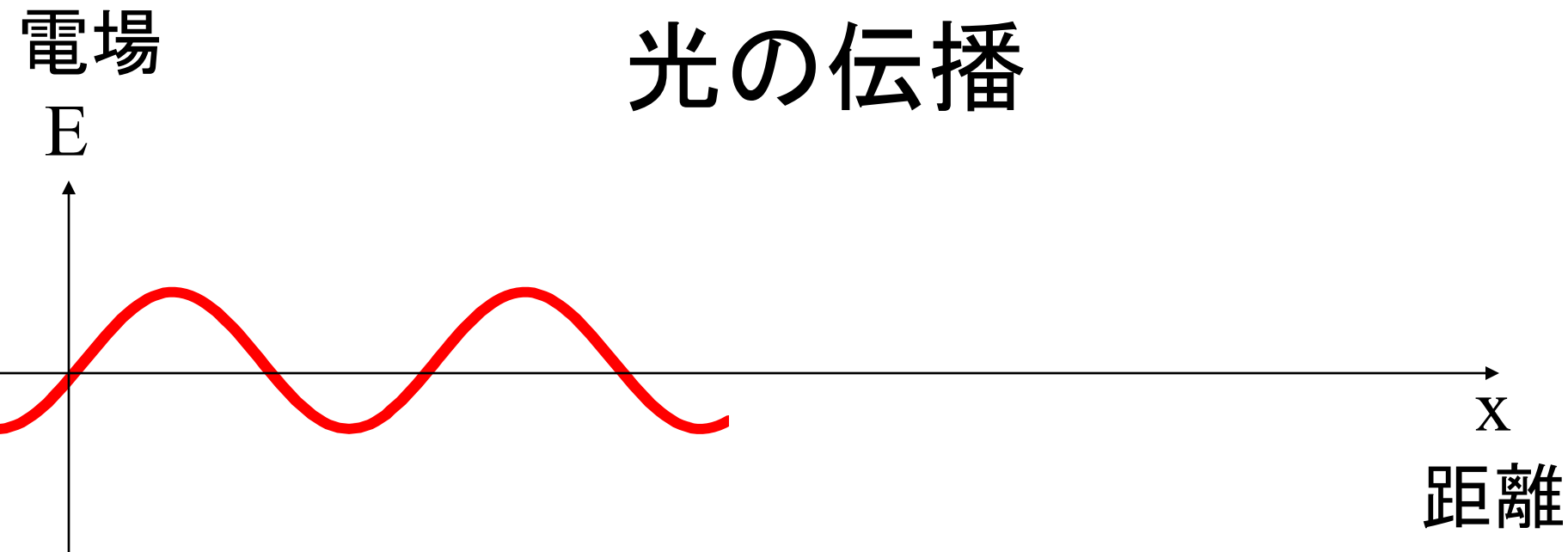


三角関数 $\sin x$ $\cos x$

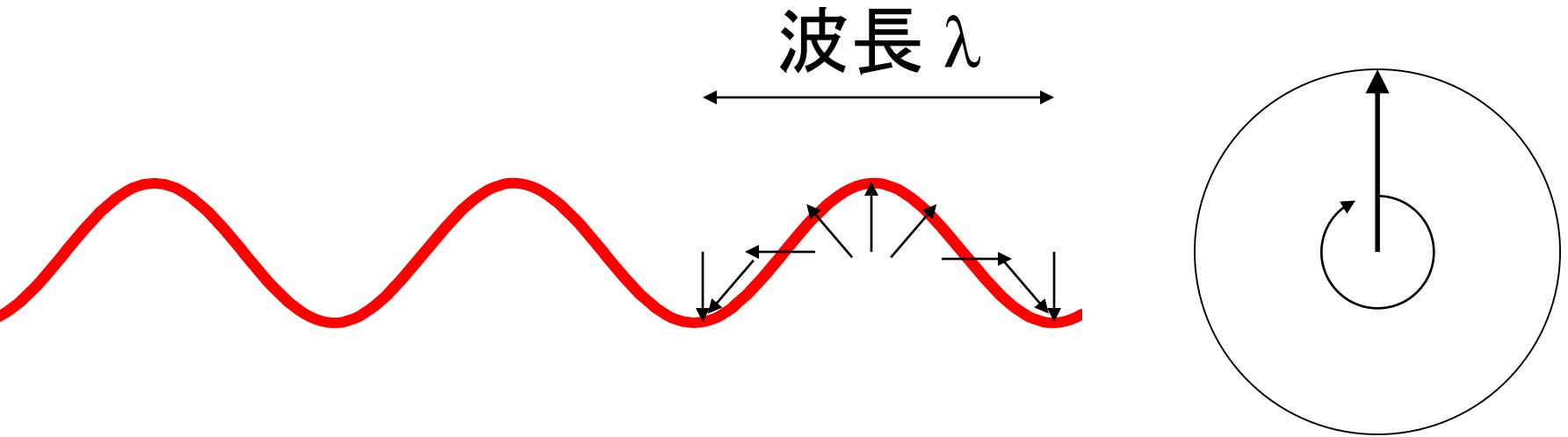


円の半径 = 波の振幅

光の伝播



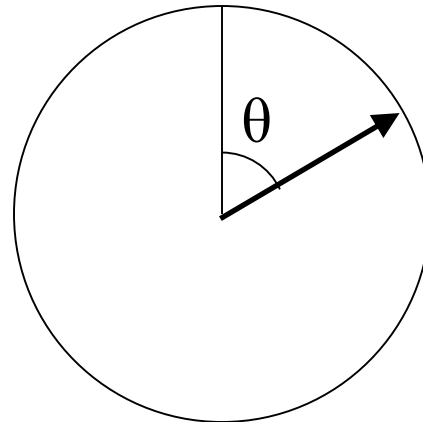
光の伝播



波の伝搬速度 V
1波長進むのにかかる時間
周期 $T = \lambda / V$

波が1波長(1周期)すすむと
矢印が1回転

矢印がどの角度にあるかを“位相”と呼ぶ



ω, t, k, x で波を表す

$$\sin(\omega t - kx)$$

$$\sin\left(\frac{2\pi}{T}t - \frac{2\pi}{\lambda}x\right)$$

t 時間

x 距離

T 周期

λ 波長

角周波数 $\omega = \frac{2\pi}{T}$ 波数 $k = \frac{2\pi}{\lambda}$

可視光の波数

$$\lambda = 500\text{nm}$$

$$\frac{k}{2\pi} = \frac{1}{\lambda} \quad \text{緑}$$

$$= \frac{1}{500\text{nm}}$$

$$= \frac{1}{500 \times 10^{-9} \text{ m}}$$

$$= \frac{1}{500 \times 10^{-7} \text{ cm}}$$

$$= 2 \times 10^4 \text{ cm}^{-1}$$

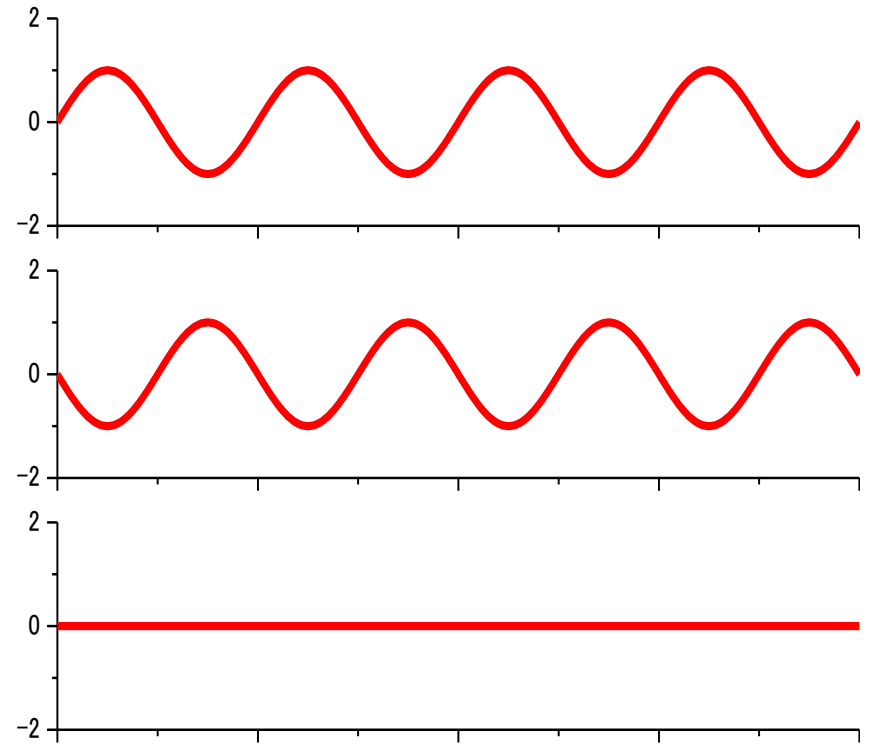
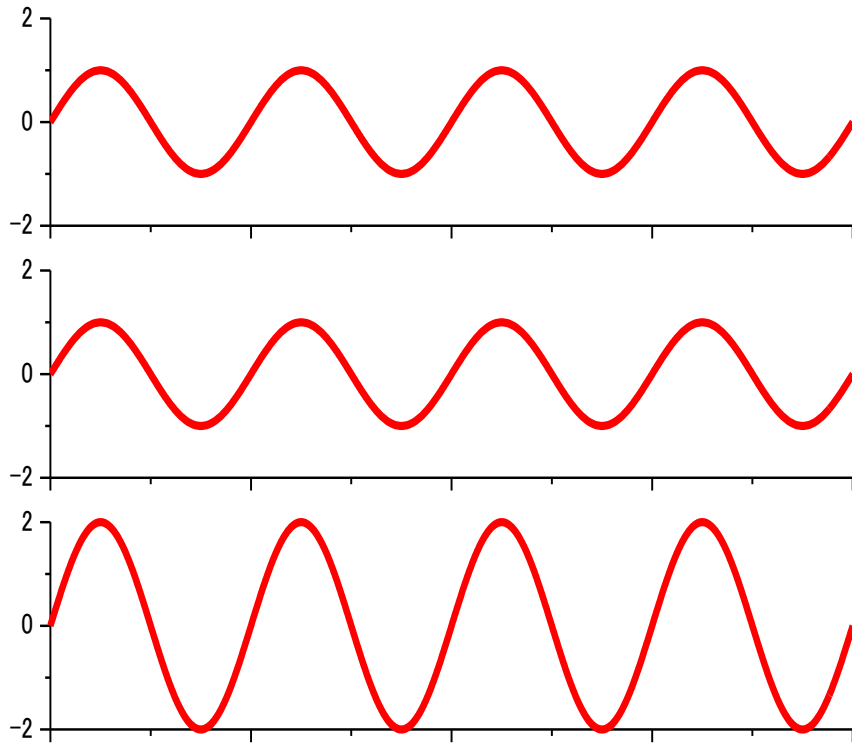
1cmあたり20000個の波を持つ(20000波長)

波の干渉

波の振幅は足し算できる

↑ ↑
同位相で強め合う

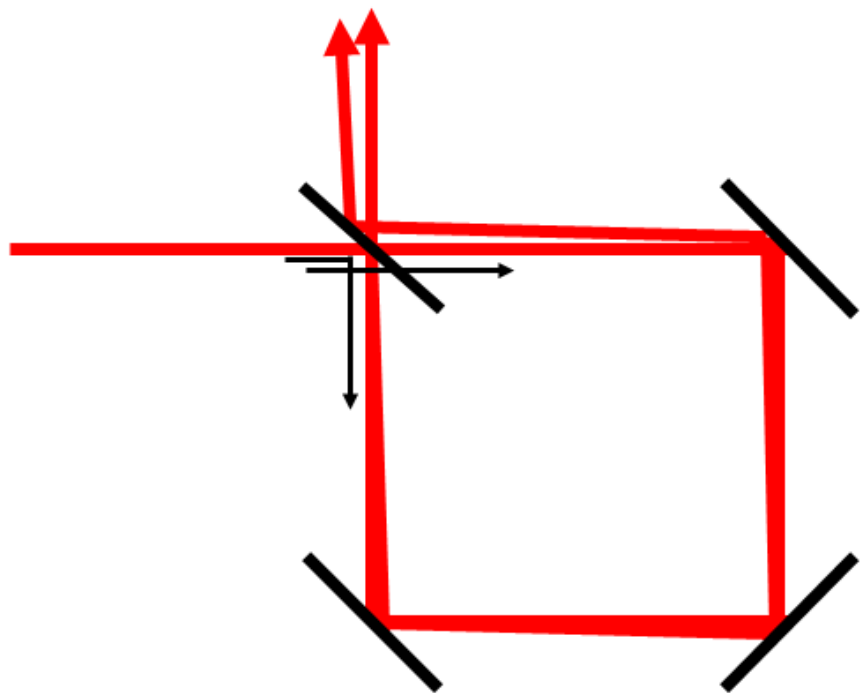
↑ ↓
逆位相で弱め合う



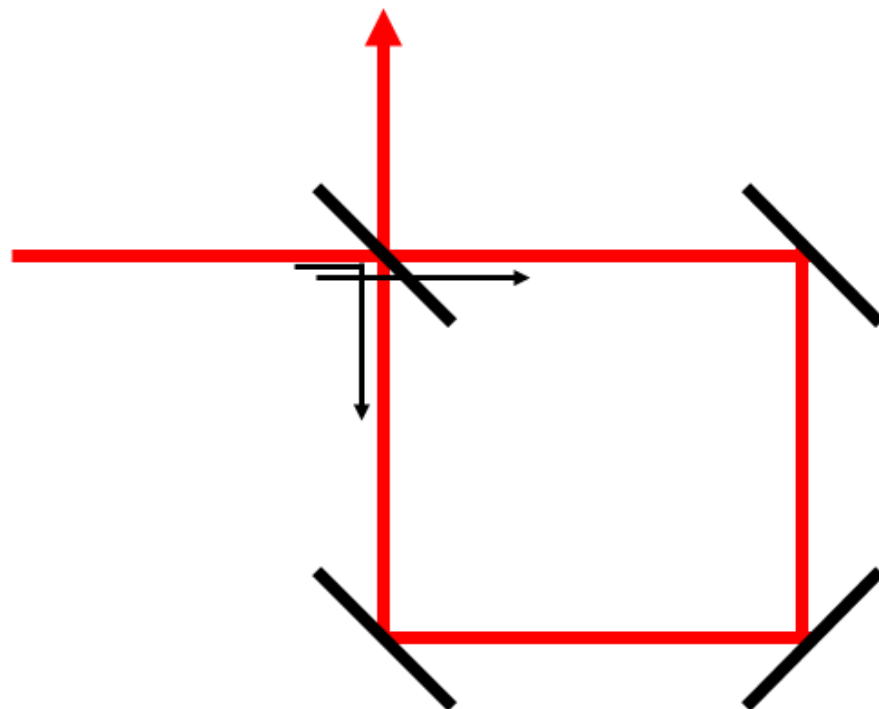
観測されるのは強度 = (振幅)²

実は $+1 - 1 = 0$

$$(+1)^2 + (-1)^2$$



$$(+1 - 1)^2$$

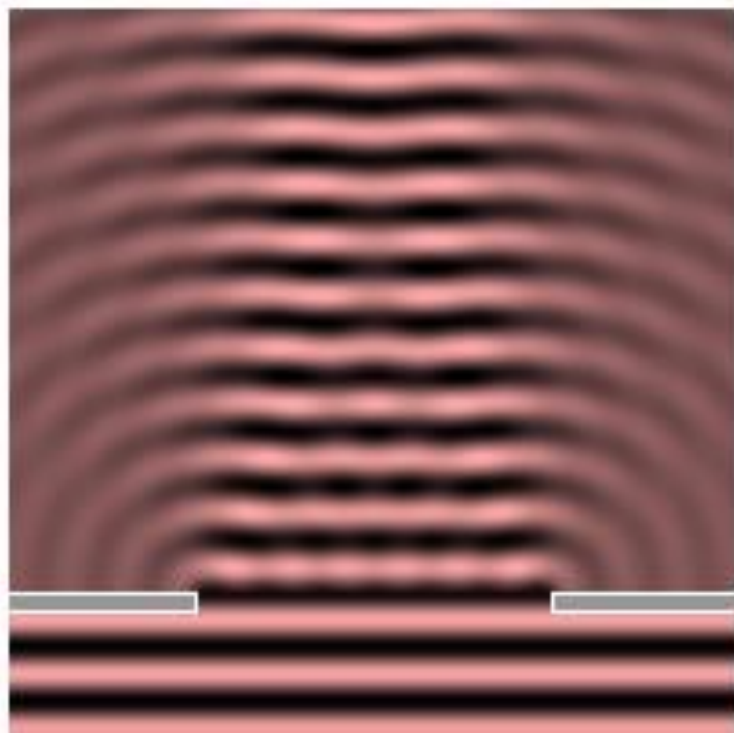


光を理解するために

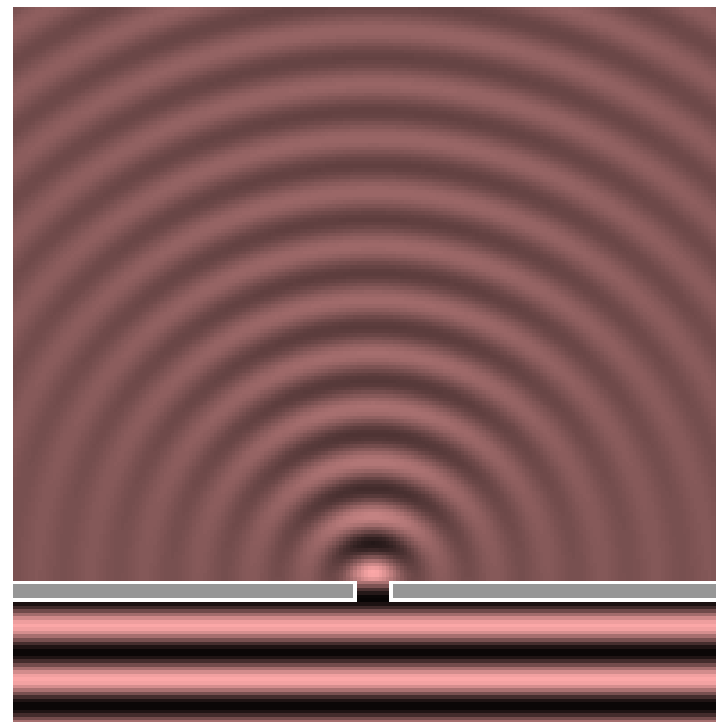
光は波である

- (1) 光はどのように空間を伝わっていくのか？
- (2) 光は物質とどのように相互作用するか
(どのように生まれて、消えるのか？)

波の回折

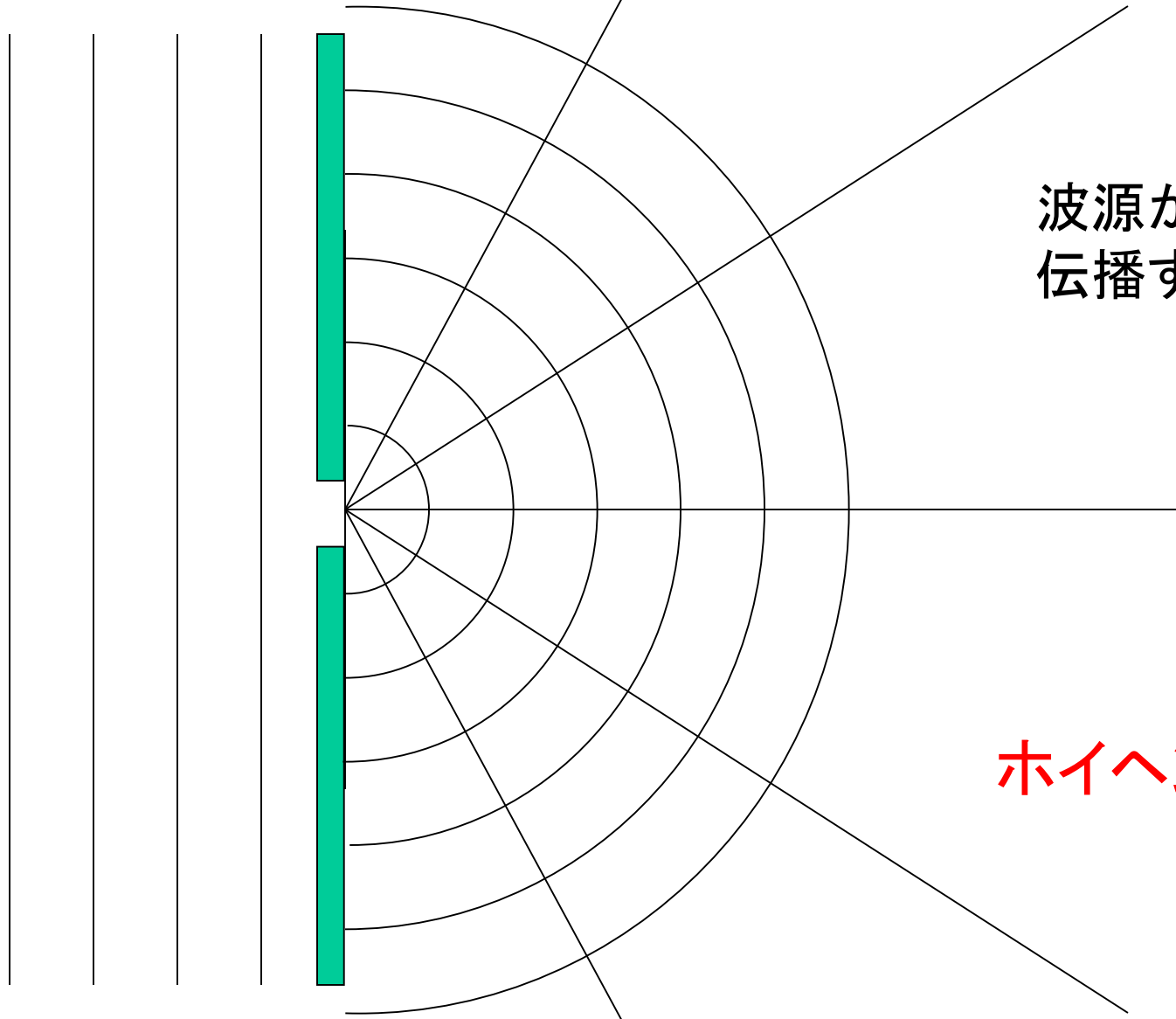


波長より十分大きい開口
直進性



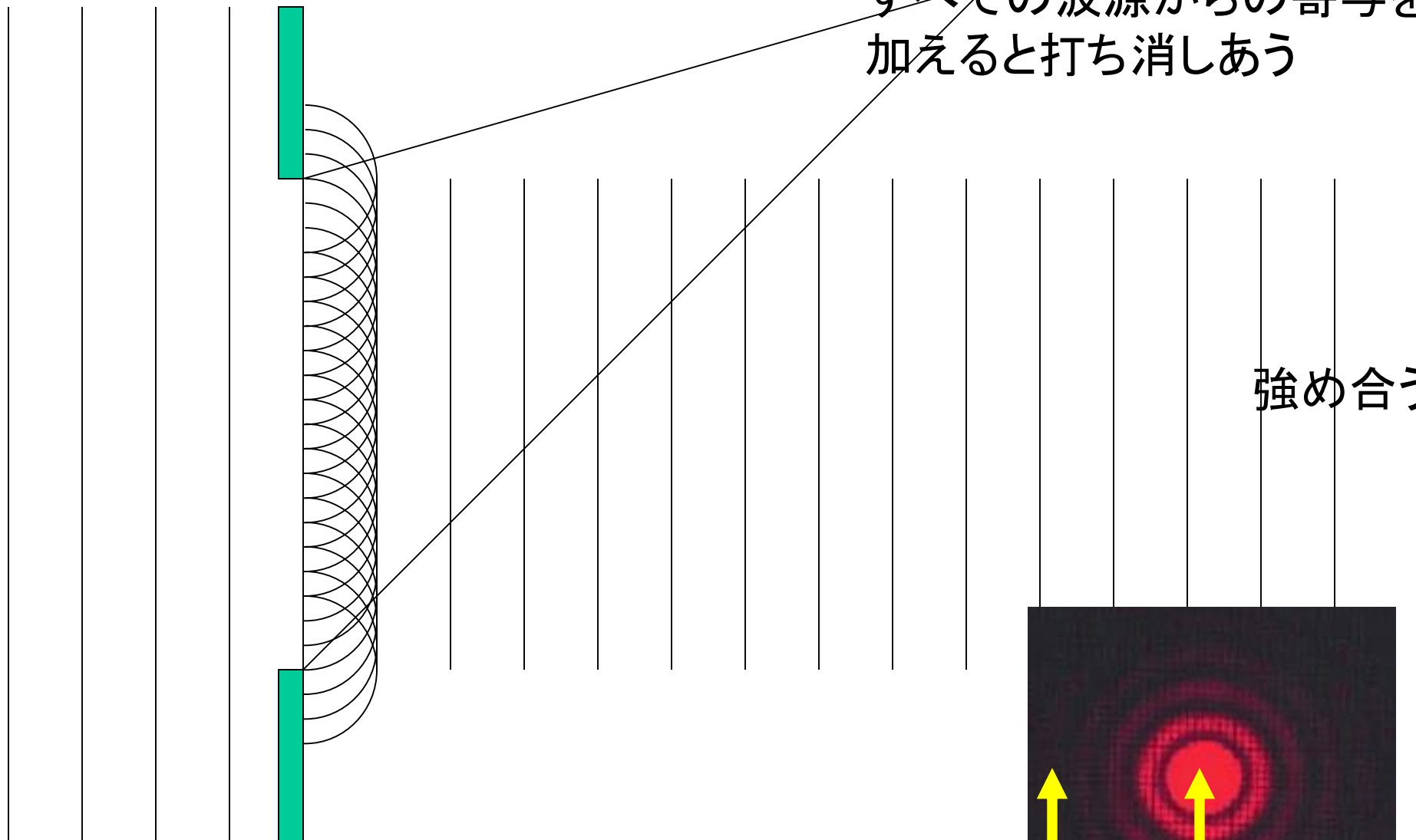
波長程度の開口
回折

波の回折



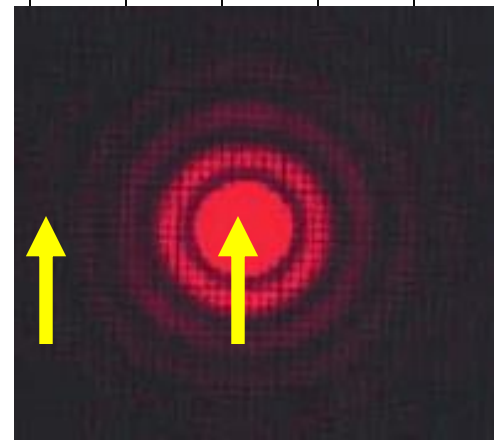
波源からすべての方向に
伝播する

ホイヘンスの素元波

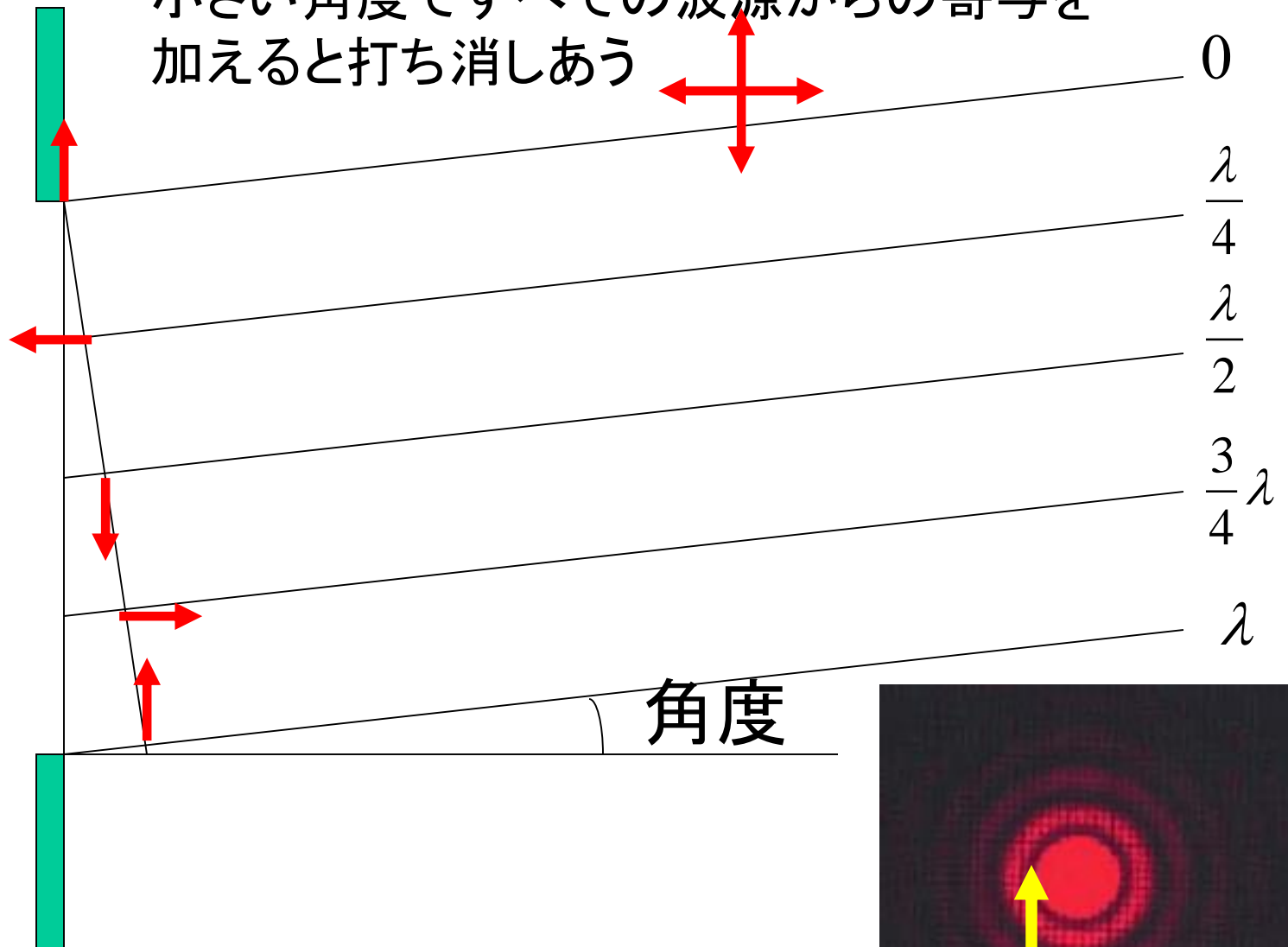


すべての波源からの寄与を
加えると打ち消しあう

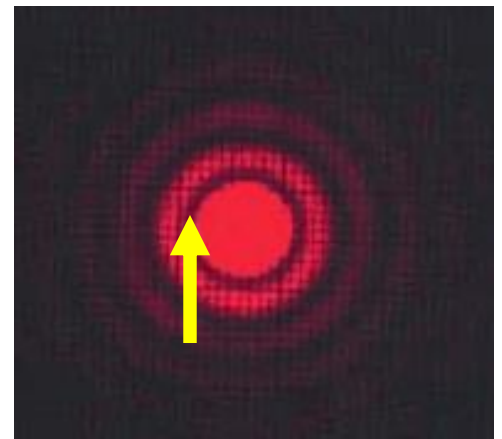
強め合う



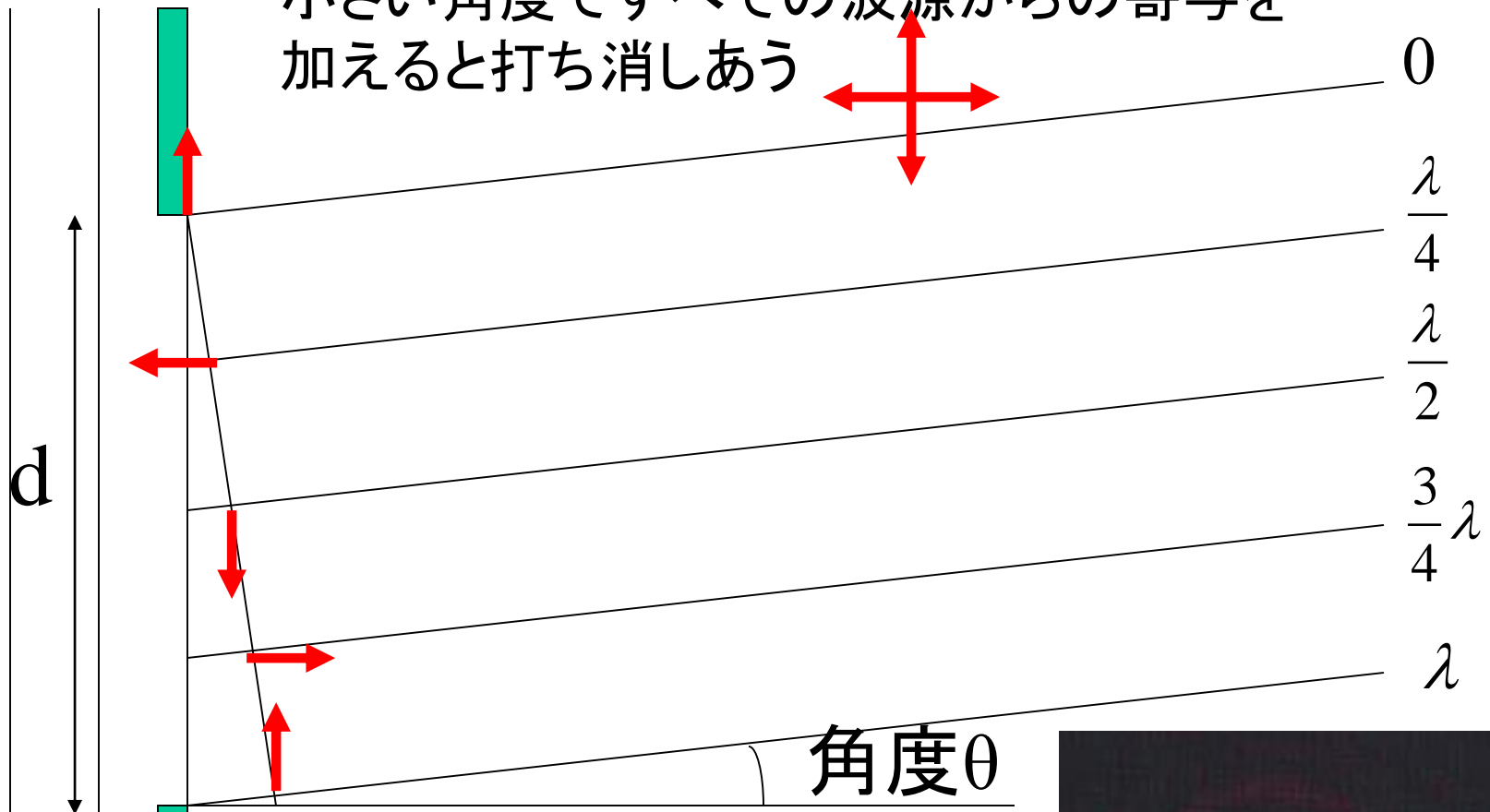
小さい角度ですべての波源からの寄与を
加えると打ち消しあう



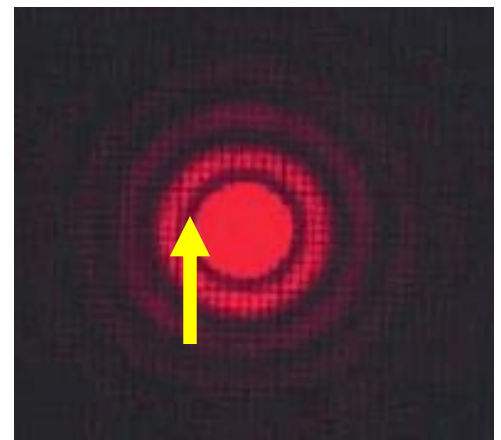
角度



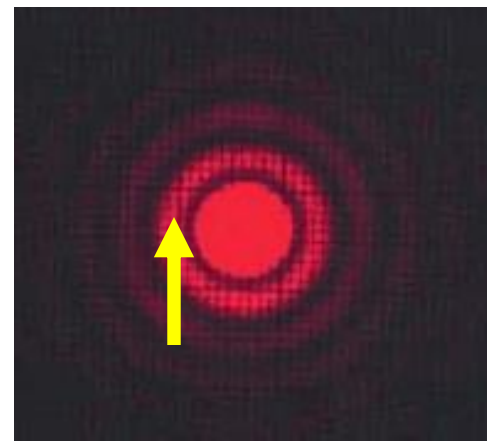
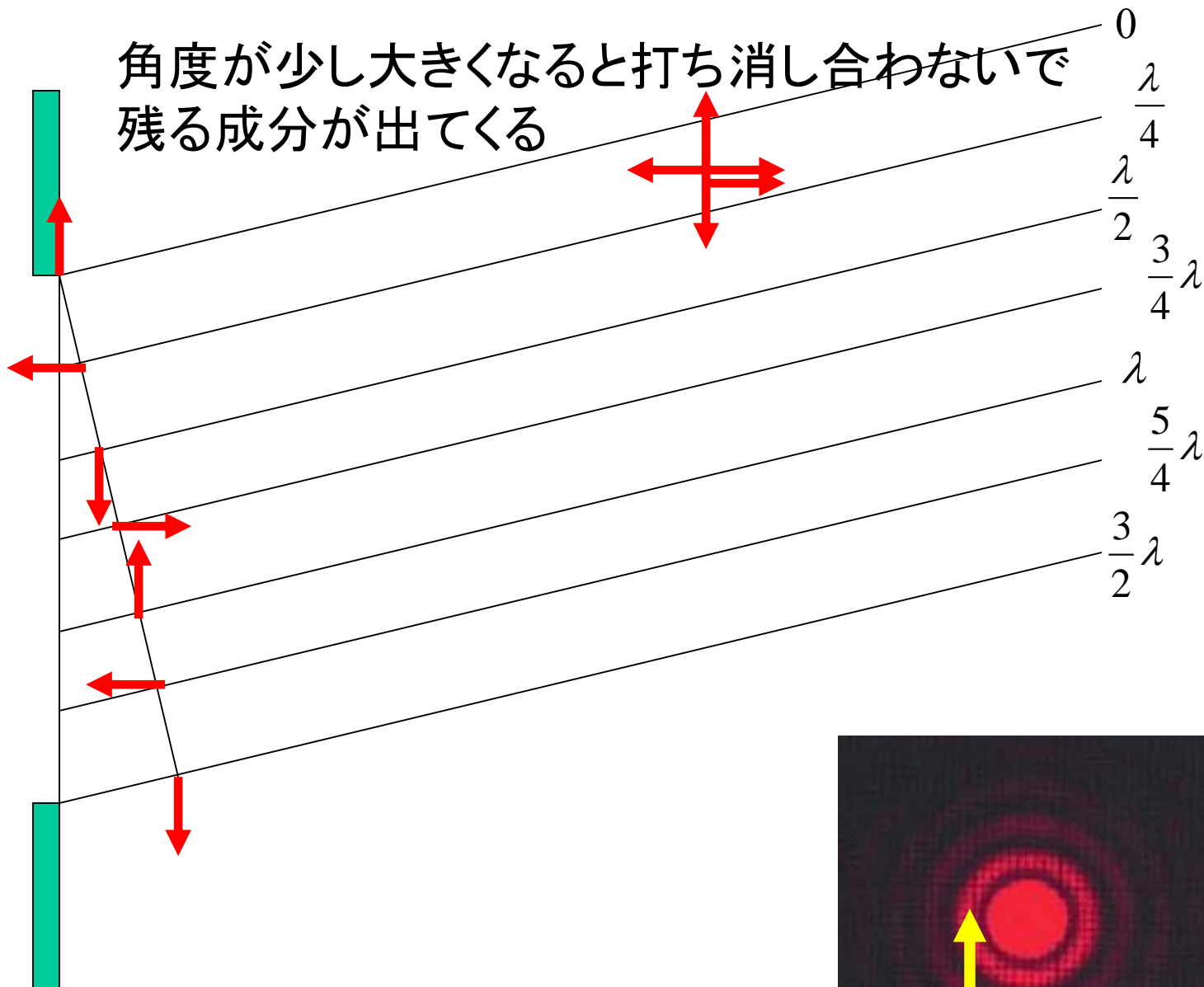
小さい角度ですべての波源からの寄与を
加えると打ち消しあう



$d \sin\theta = \lambda$ $\theta \ll 1$ のとき
ビームの広がり角 $\theta \sim \lambda/d$



角度が少し大きくなると打ち消し合わな
残る成分が出てくる



(1) 光はどのように空間を伝わっていくのか？
(光の伝播)

光は自分自身と干渉して、強め合う方向に進む

光の回折の応用

ホログラフィー

X線回折

光計算

光情報処理

回折＝フーリエ変換

2次元フーリエ変換、2次元逆フーリエ変換

$$f(x, y) \Leftrightarrow F(k_x, k_y)$$

実空間

k空間(空間周波数空間)

$$F(k_x, k_y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) e^{-i(k_x x + k_y y)} dx dy$$

$$f(x, y) = \frac{1}{(2\pi)^2} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} F(k_x, k_y) e^{i(k_x x + k_y y)} dk_x dk_y$$

波の種類

水波

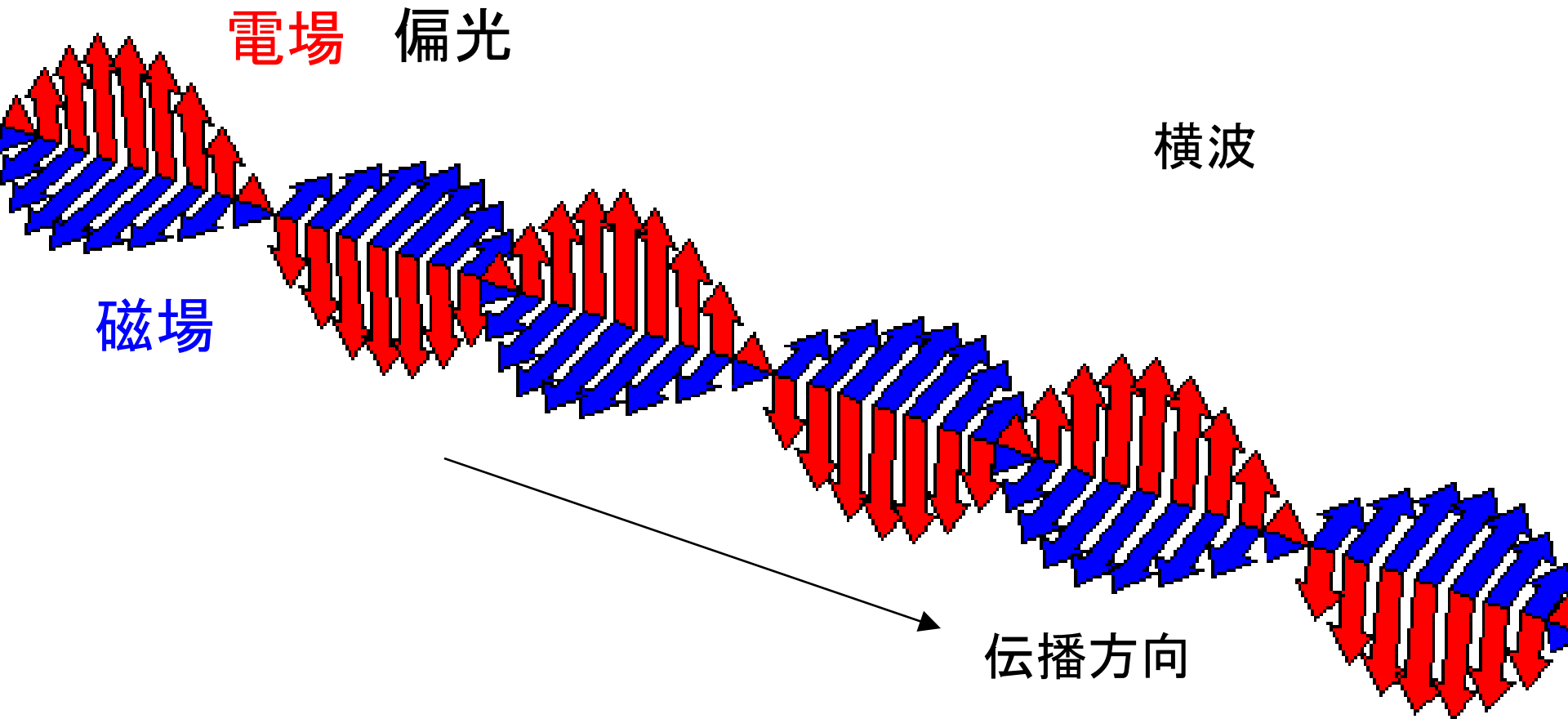
音波

地震波(弾性波)

光波(電磁波)

重力波

光は電磁波である



電磁波の波長

γ線

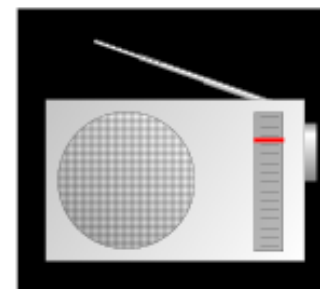
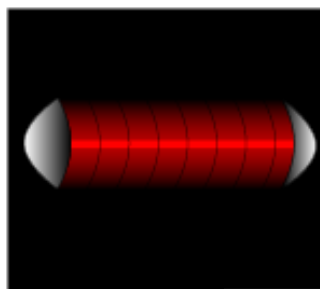
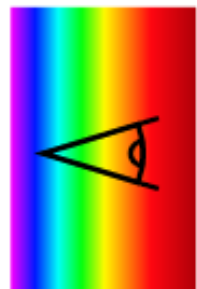
X線

紫外線

可視光

赤外線

電波



0.01nm

1nm

100nm

1μm

1mm

1m

1km

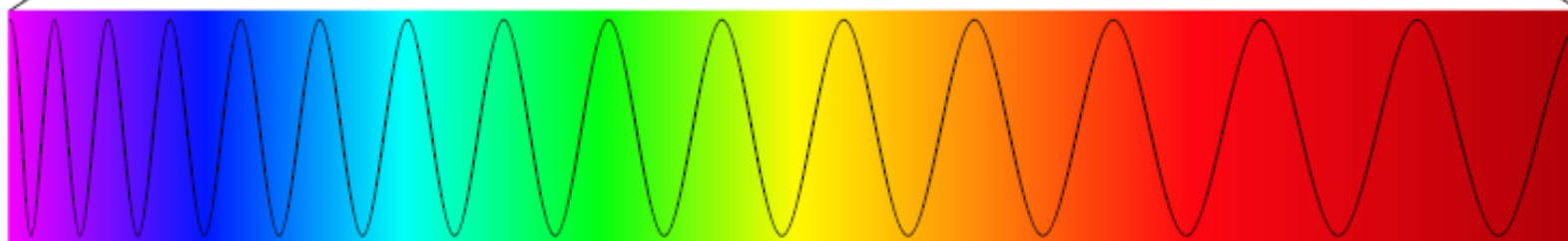
電子レンジ 2.45GHz 12.2cm

携帯 2.1GHz

1.5GHz

0.8GHz 37.5cm

5G 3.7, 4.5, 28GHz

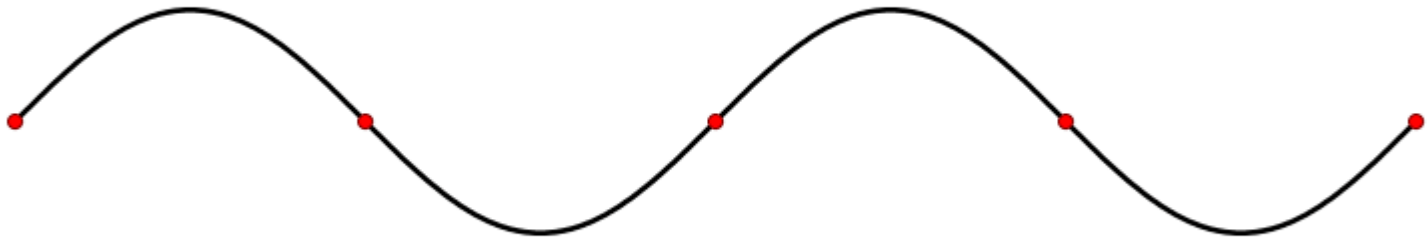


380 nm

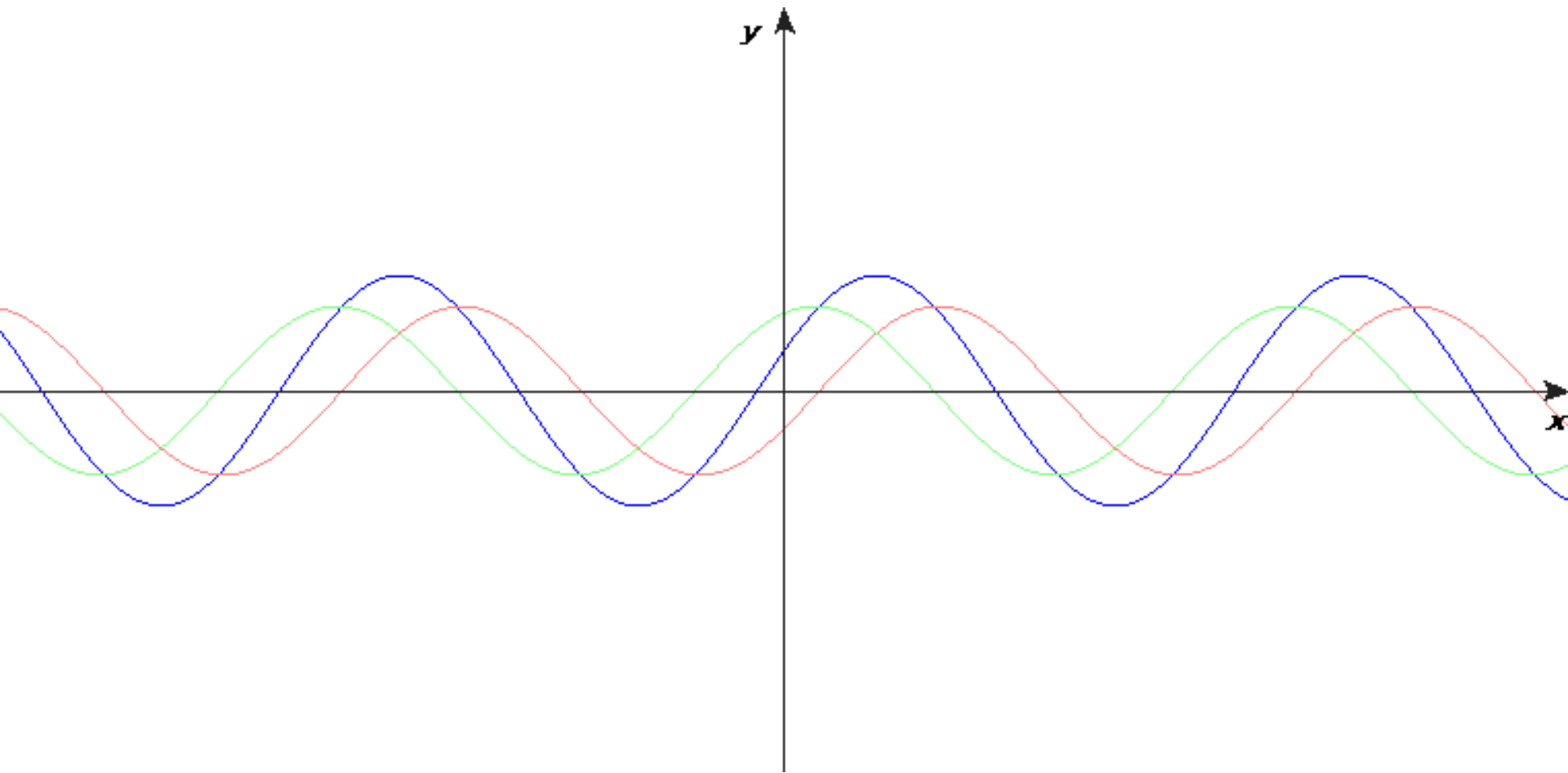
500 nm(緑)

600000 GHz=600 THz 800 nm

大きく振動する場所(腹)
振動しない場所(節)
が発生
なぜ？

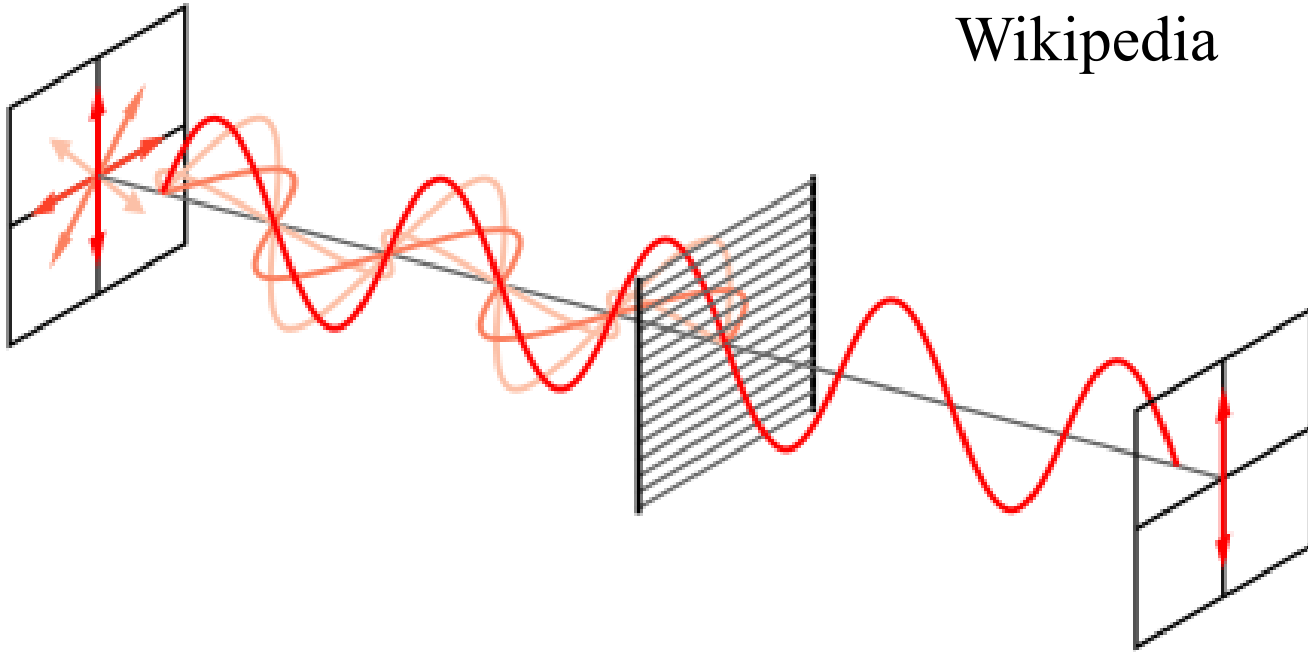


定在波



偏光板の実験

Wikipedia



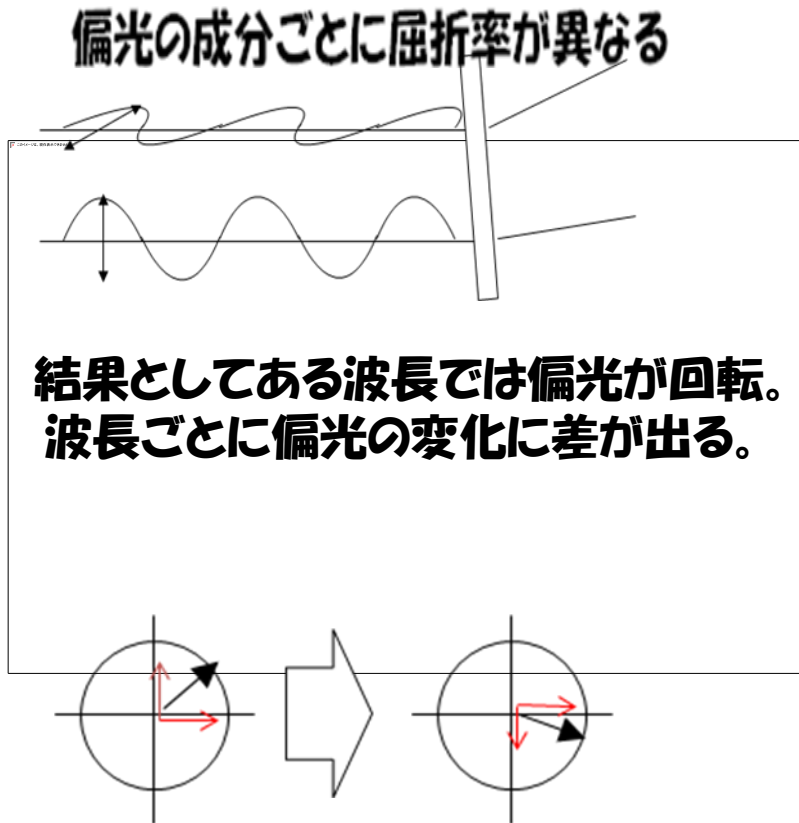
左側：偏光していない光

中央：偏光板が電場の水平方向成分を吸収

右側：垂直方向成分のみをもった直線偏光

液晶モニタと偏光板の実験

なぜ偏光した光と偏光板を使うと色が変わったり虹色が見えたりするのだろうか。



縦偏光 n

横偏光 $n + \Delta n$

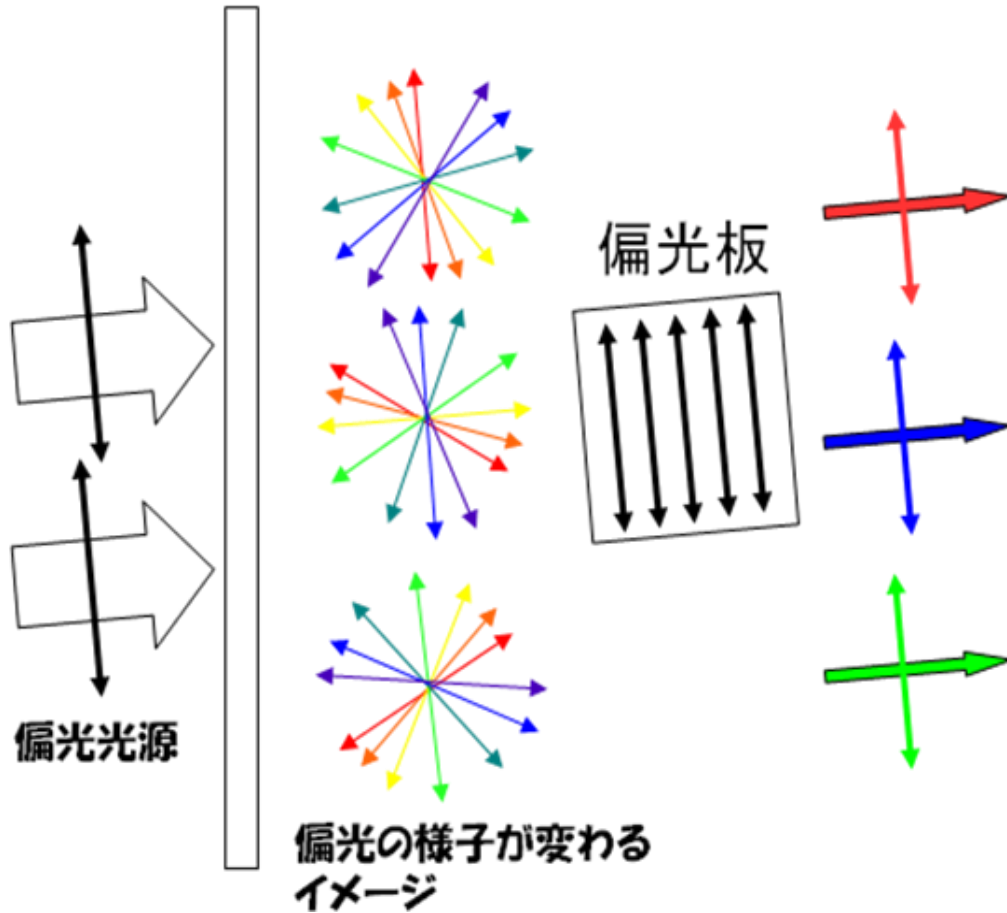
光路差 $\Delta n L$

位相差 $\Delta \theta = 2\pi \frac{\Delta n L}{\lambda}$

波長ごとに位相差 = 偏光の回転角
が異なる

場所ごとに L や Δn が異なると?

偏光板による波長選択のイメージ

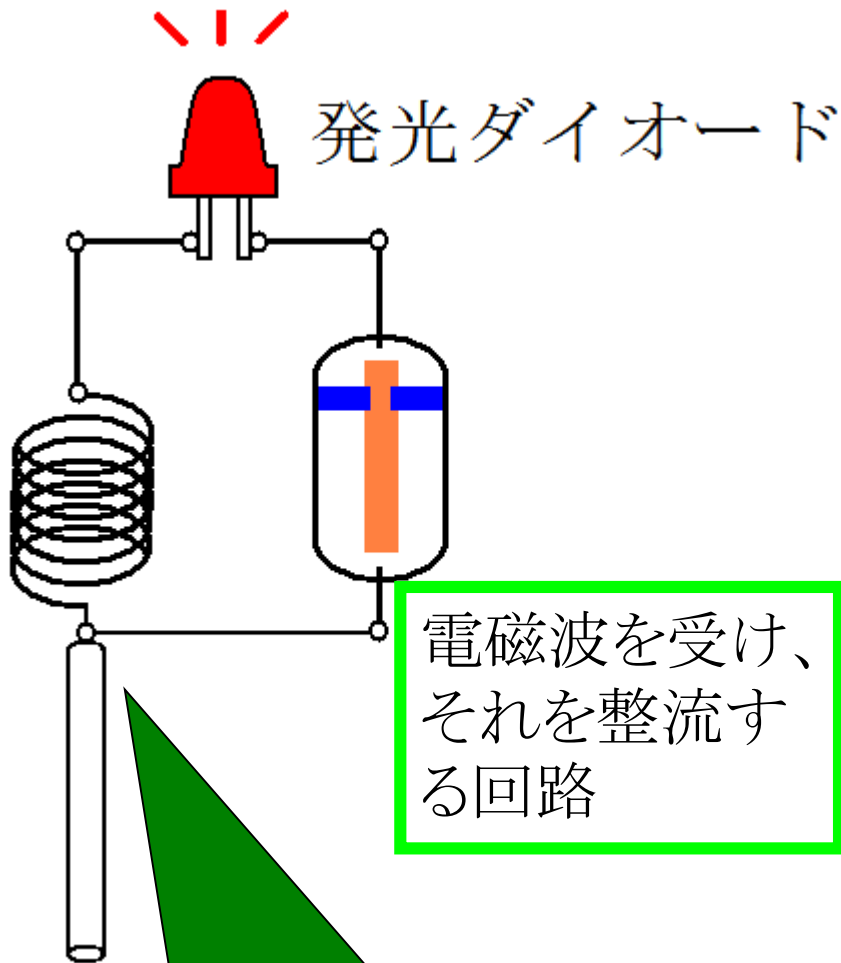


上記二つの現象が組み合わさって、透明媒質の各点で特定の偏光方向を持つ波長が決まります。ここで偏光板を挟むと場所ごとに選択される偏光に対応した波長(色)だけが見えるので、傾けると色が変わったり虹が見えたりします。

電子レンジのマイクロ波実験

2.45GHz 12.2cm の電磁波 = 光

光 ⇒ エネルギー



電磁波を受け、
それを整流する回路

アンテナ

長さ=マイクロ波波長の1/2

- ・ 電磁波を受ける
↓
- ・ ダイオードが発光
//
エネルギー

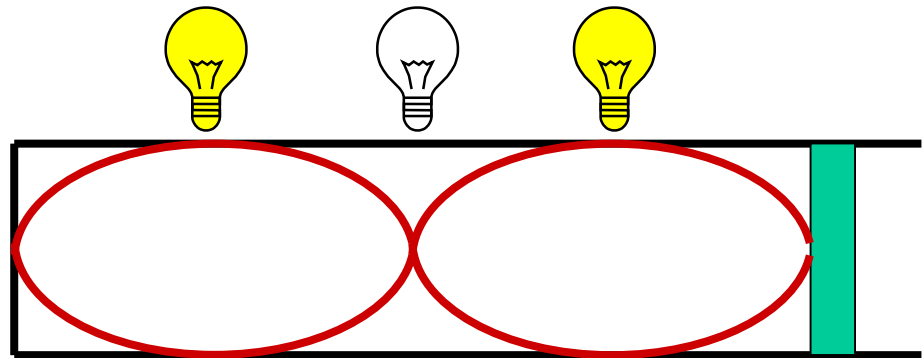
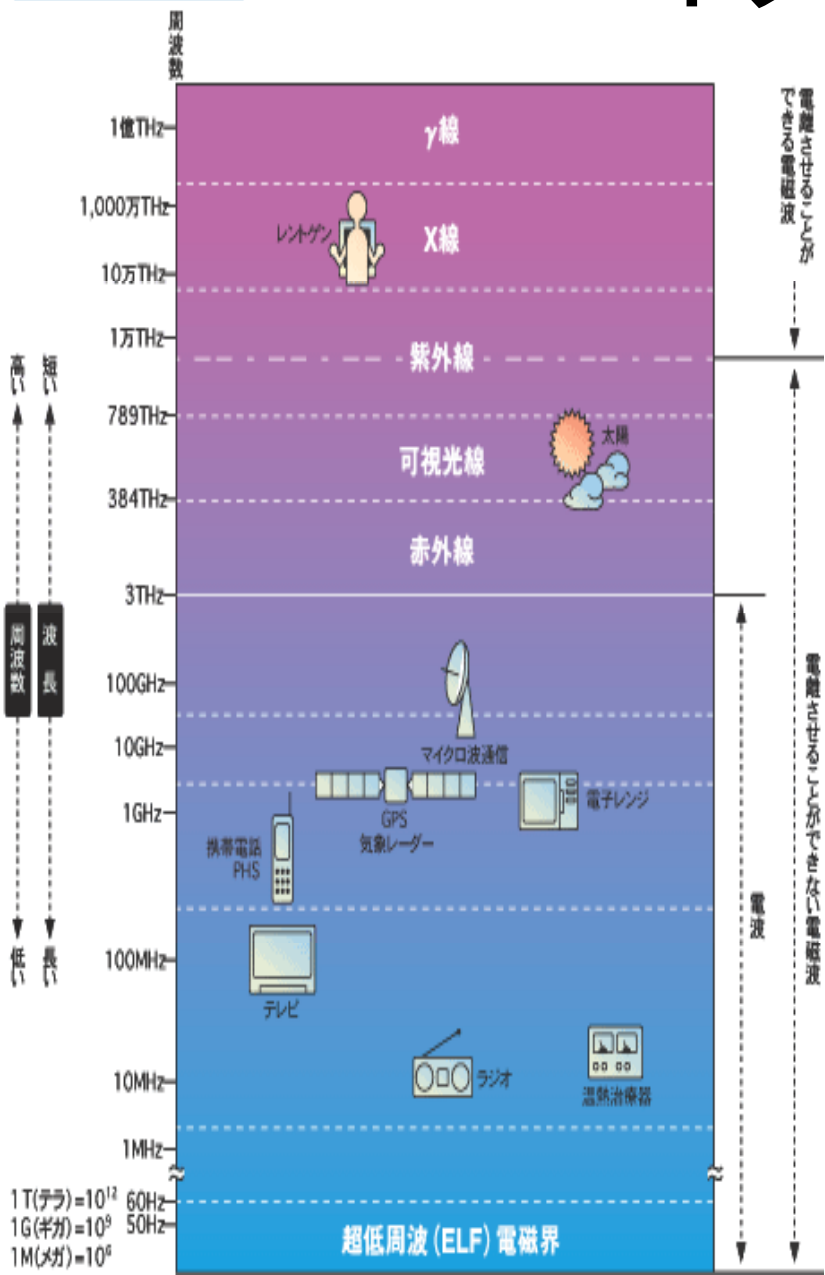
光も電磁波！

太陽電池も太陽光＝電磁波（波動性）
によって発電し、電力を生み出している。

電磁波はエネルギーをもつ。

マイクロ波の共鳴

周波数による電磁波の分類

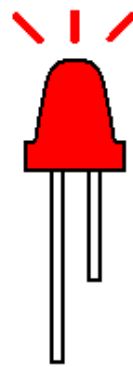
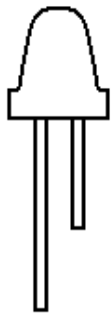
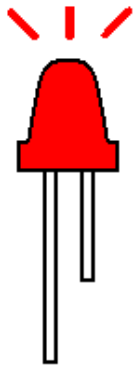
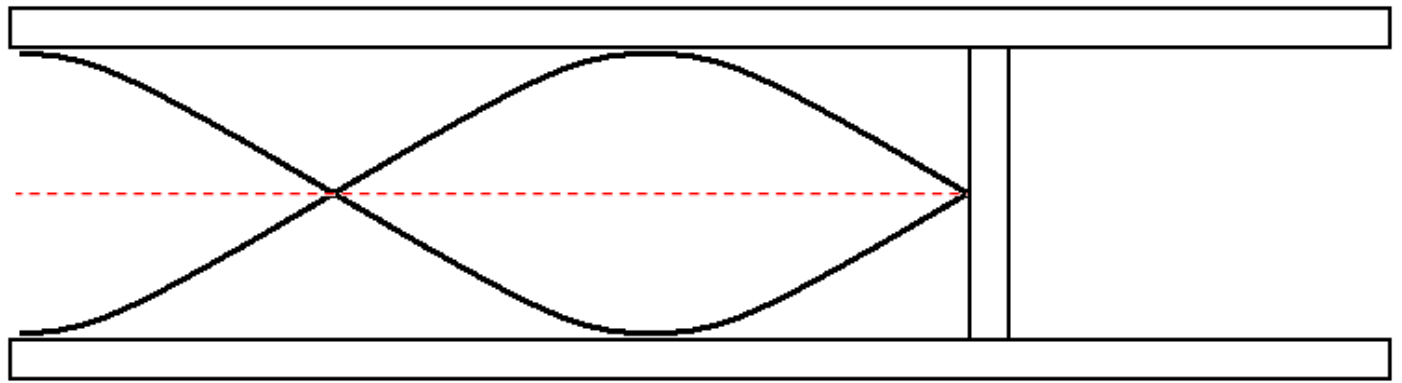
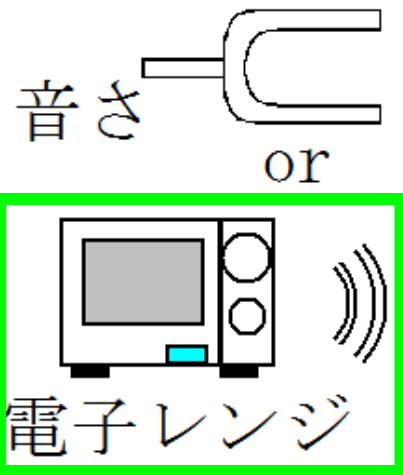


マイクロ波も半波長の整数倍の長さの空間に閉じ込めると音波と同様に定在波を作り、共鳴する。

マイクロ波も光も電磁波

電子レンジ	2.45GHz	波長12.2cm
携帯電話	2.1GHz	
	1.5GHz	
	0.8GHz	

マイクロ波・定在波



電子レンジ	2.45GHz
携帯電話	2.1GHz
	1.5GHz
	0.8GHz

点灯

点灯

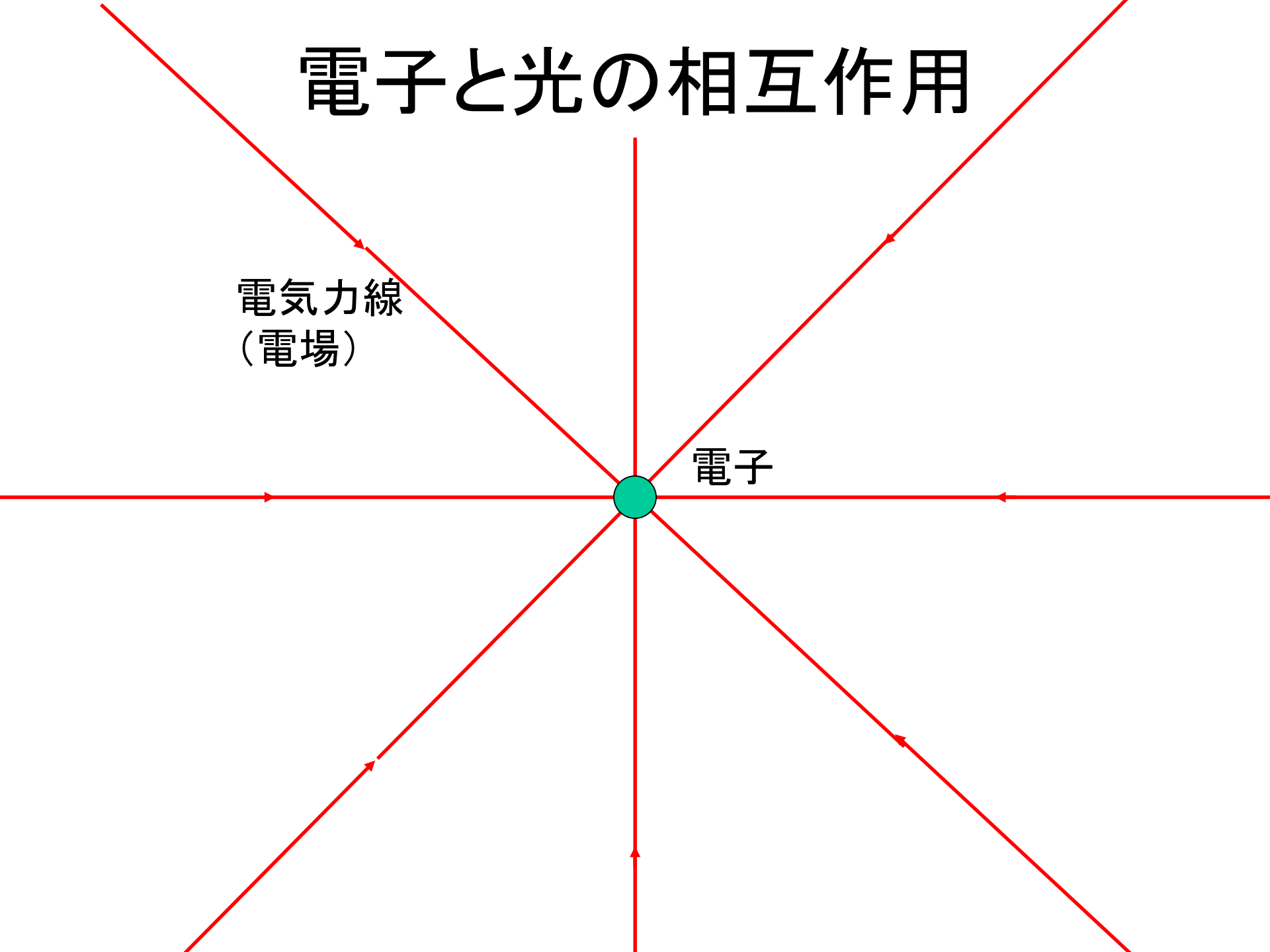
・音さから出る音波も、電子レンジから取り出したマイクロ波も定在波を形成・共鳴する。

・点灯から点灯までの長さ＝マイクロ波 波長の1/2

(2) 光は物質とどのように相互作用するか
(どのように生まれて、消えるのか?)

青空、夕焼け
視覚、照明、太陽電池、光合成

電子と光の相互作用

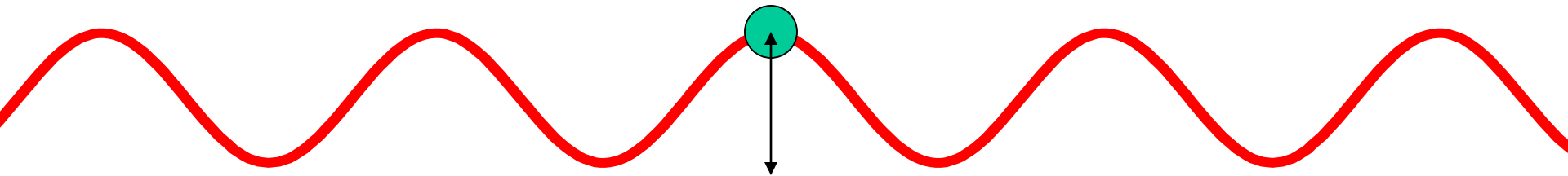


電気力線
(電場)

電子

電子が加速度運動すると 電磁波が放出される

電子の振動(分極) \Leftrightarrow 電磁波



単振動 位置 $x = \sin \omega t$

速度 $v = \frac{dx}{dt} = \omega \cos \omega t$

加速度 $a = \frac{dv}{dt} = -\omega^2 \sin \omega t$

$\omega (= 2\pi c / \lambda)$ が大きいほど放出電磁波の強度大きい

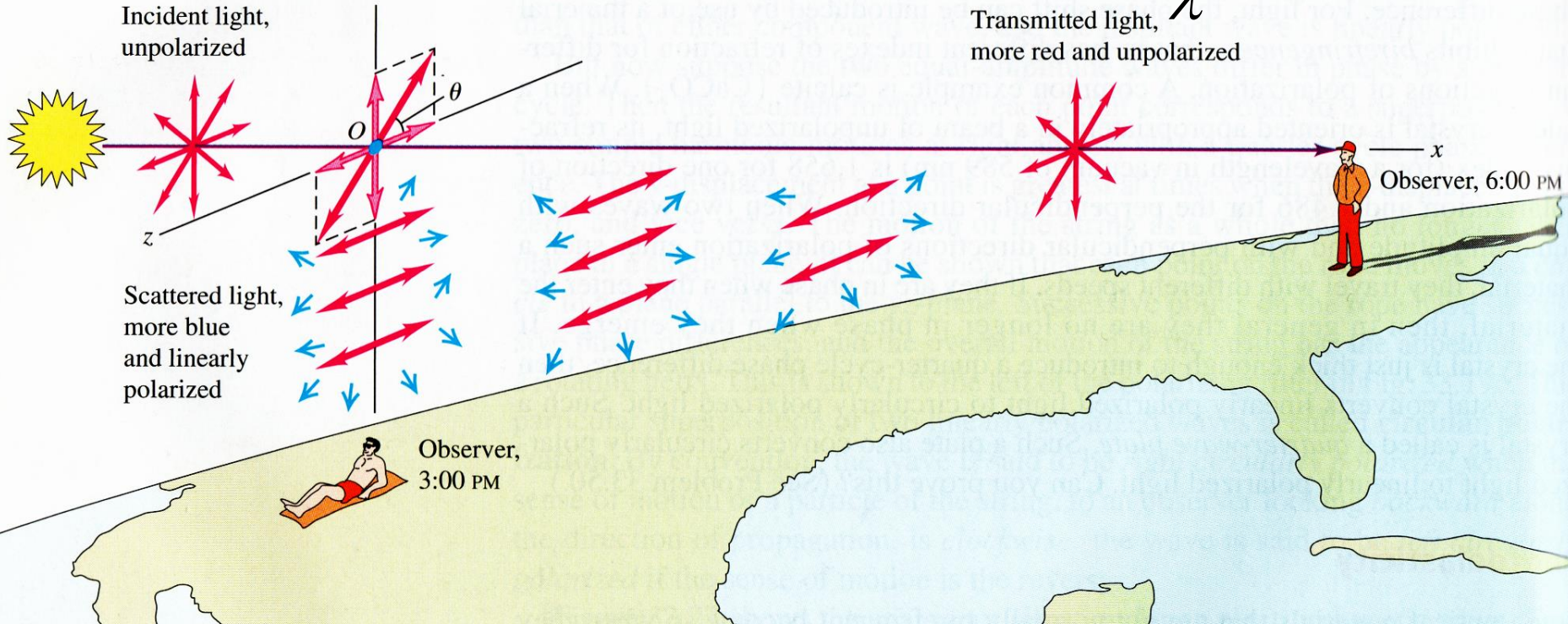
太陽光の散乱

入射電磁波 $E = E_0 \cos \omega t$

電子が変位 = 分極 $p = qx \propto qE_0 \cos \omega t$

散乱電磁波 $E_s \propto \frac{d^2 p}{dt^2} \propto a = \omega^2 \cos \omega t$

散乱電磁波の強度 $\propto E_s^2 \propto \omega^4 \propto \frac{1}{\lambda^4}$



光で物体を操作する

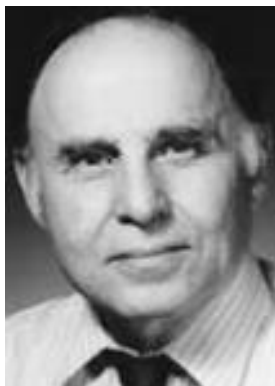
なぜそんなことが可能なのだろうか？

光は**運動量**を持つ

運動量の時間変化 = **力**

光の輻射圧力

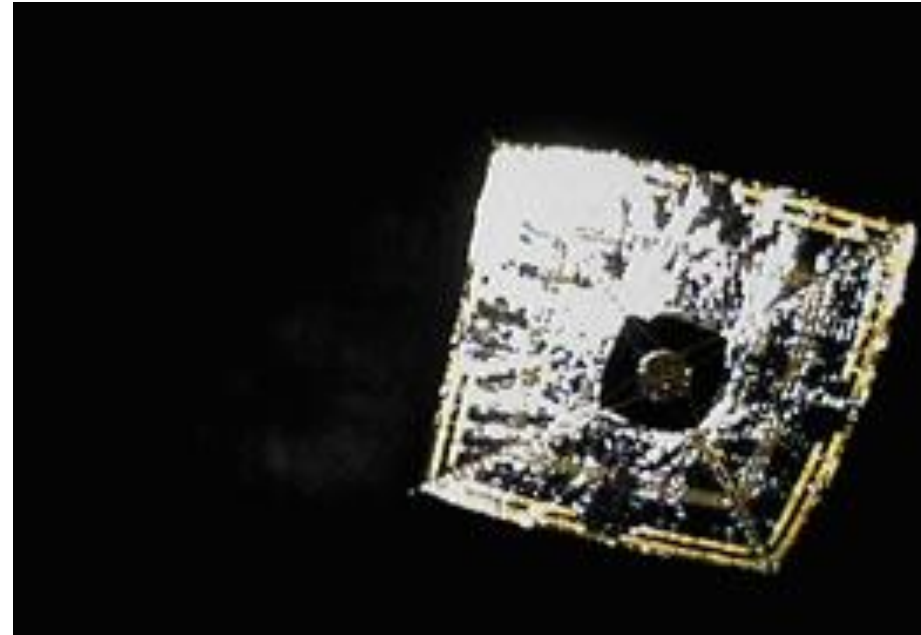
$$ma = F$$
$$m \frac{dv}{dt} = F$$
$$\frac{d(mv)}{dt} = F$$



2018年のノーベル物理学賞 A.Ashkin
光ピンセットの開発とその生体応用

打ち上げ成功 2010年5月21日

ソーラーセイルの展開成功 6月10日

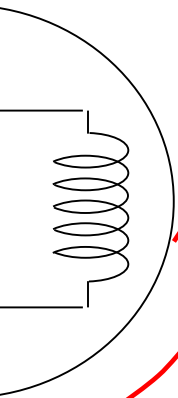


2010年12月、金星のそばを通り過ぎる

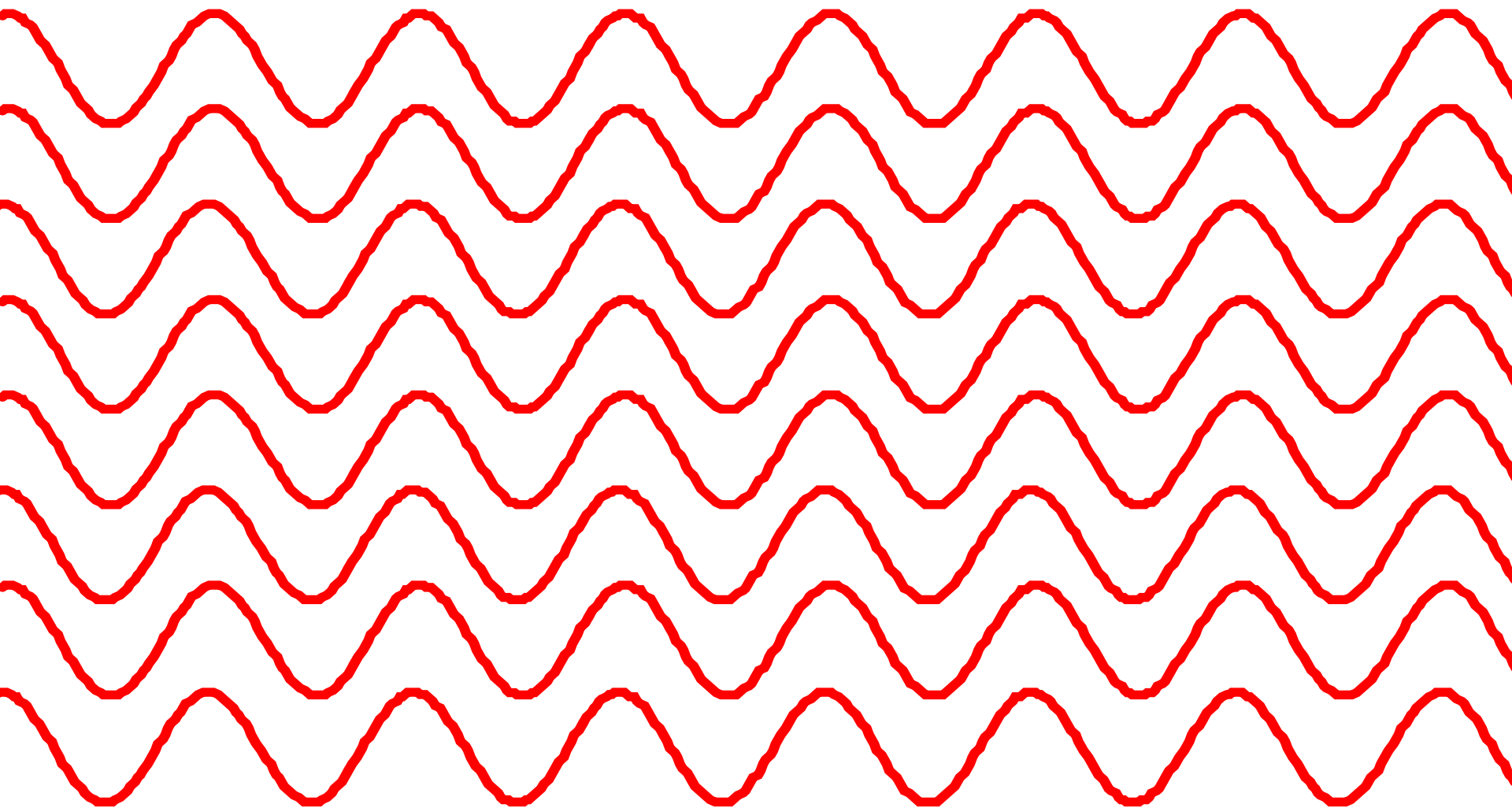
太陽光を帆に受けることによる加速や減速、軌道制御など、予定していたすべての任務に成功

レーザーって何？

自然光(通常の人工照明も含む)

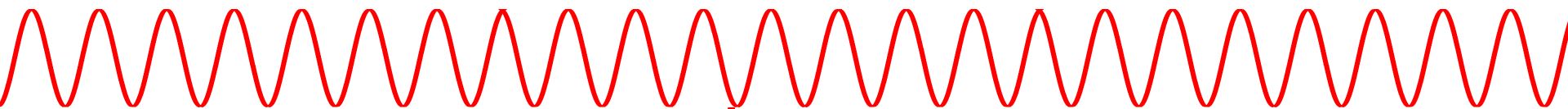


レーザー光



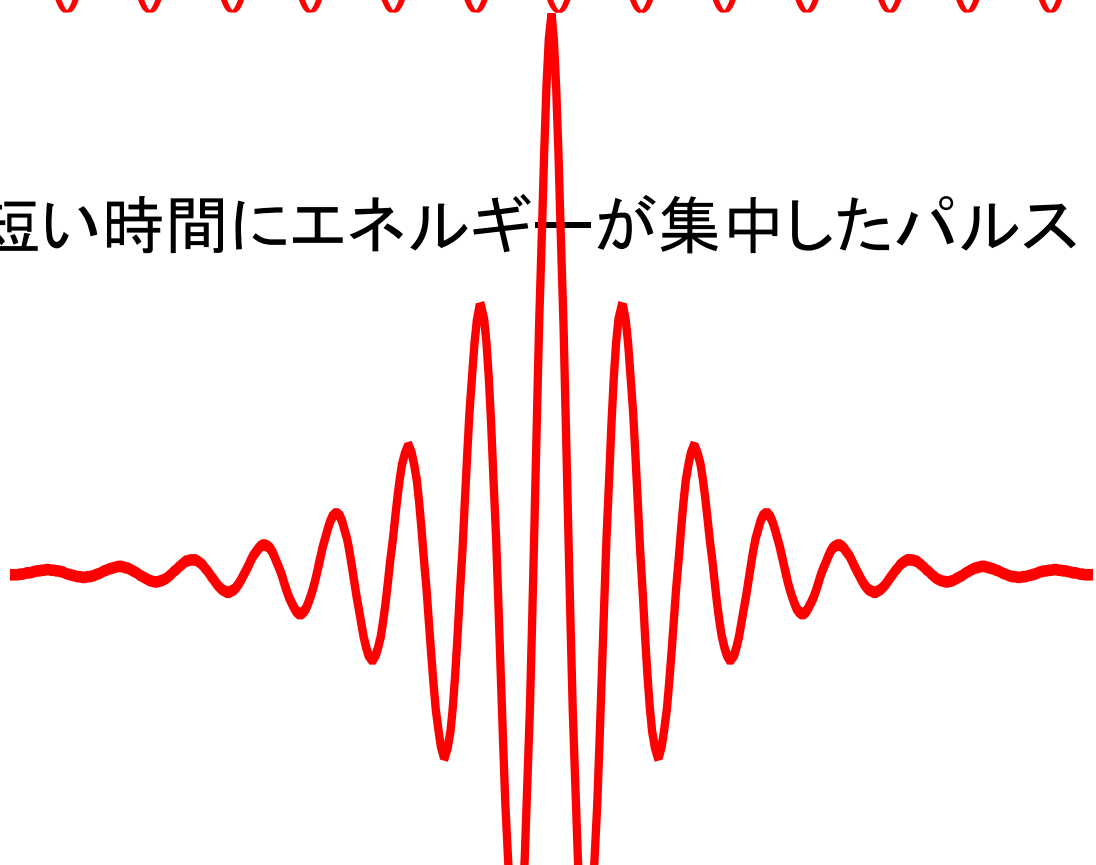
人類が作り出した夢の光 レーザー

ω エネルギーが特定の周波数(波長)に集中

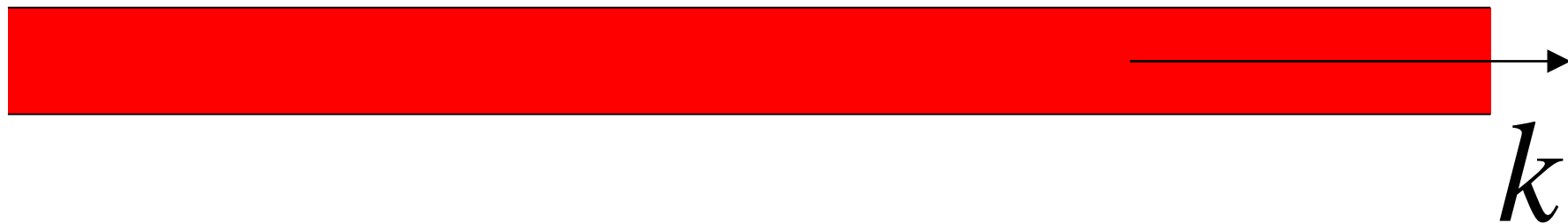


非常に短い時間にエネルギーが集中したパルス

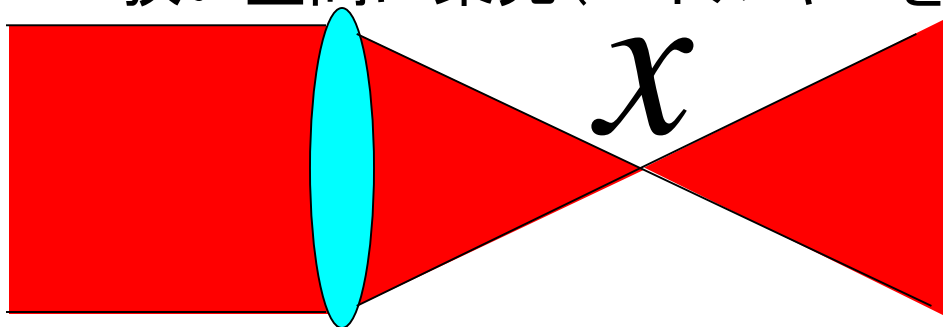
t



一定の方向(k)にエネルギーが集中(いつまでも広がらないで進む)



狭い空間に集光(エネルギーを集中)することができる



特定の ω, t, k, x にエネルギーを集中できる

$$\sin(\omega t - kx)$$

$$\sin\left(\frac{2\pi}{T}t - \frac{2\pi}{\lambda}x\right)$$

角周波数 $\omega = \frac{2\pi}{T}$ 波数 $k = \frac{2\pi}{\lambda}$

光、電気、磁気の法則を支配する基本方程式

Maxwell 方程式

$$\left(\nabla^2 - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \right) A^\mu = -\mu_0 J^\mu$$

$$A^\mu = \left(V/c, A_x, A_y, A_z \right) \quad \text{4次元ポテンシャル}$$

$$J^\mu = \left(c\rho, J_x, J_y, J_z \right) \quad \text{4次元電流密度}$$

古典電磁気学

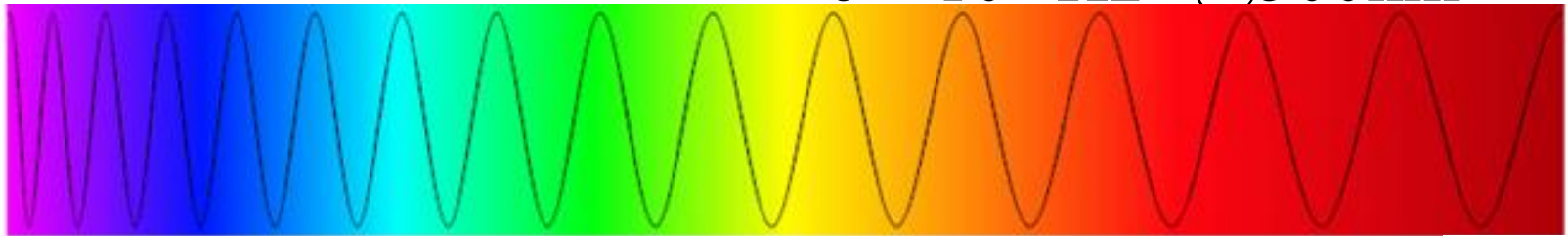
光は粒子である

現代物理 光は **波** と **粒子** の二重性を持つ
電磁波 **光子**

光のエネルギーの最小単位 $E = h\nu$

(1) 赤い光 波長が長い エネルギーが低い
緑
青い光 波長が短い エネルギーが高い

数



380 nm

800 nm

不思議なこと

光は波（電磁波）と粒子（光子）の二重性を持つ

光子：質量ゼロの素粒子

光は真空中を $c = 3 \times 10^8$ m/s で進む

（1秒間に地球を7.5周できる速さ）

光速度 c で走っている光子は歳をとらない

（もし、宇宙誕生以来消えないで真空中を走り続けた光子がいたとしたら、その光子の年齢は0歳！）

アインシュタインの相対性理論

どんな研究をしているかはあとで

デモ実験

2部屋に分かれてください

虹

プラズモン

光学隠蔽 (cloaking)

再帰性反射

ホログラフィー

光学隠蔽(透明マント)

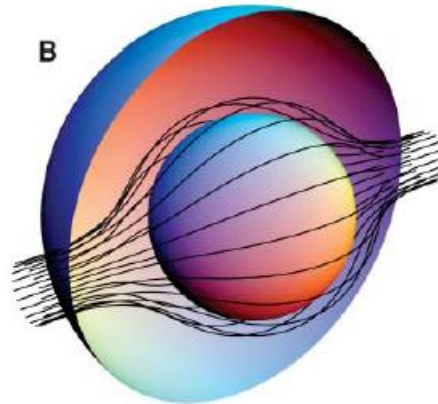
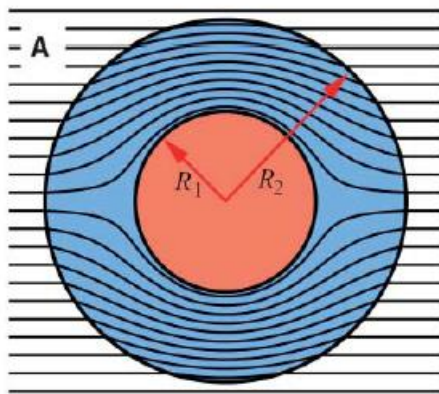


Fig. 2. A ray-tracing program has been used to calculate ray trajectories in the cloak, assuming that $R_2 \gg \lambda$. The rays essentially follow the Poynting vector. **(A)** A two-dimensional (2D) cross section of rays striking our system, diverted within the annulus of cloaking material contained within $R_1 < r < R_2$ to emerge on the far side undeviated from their original course. **(B)** A 3D view of the same process.

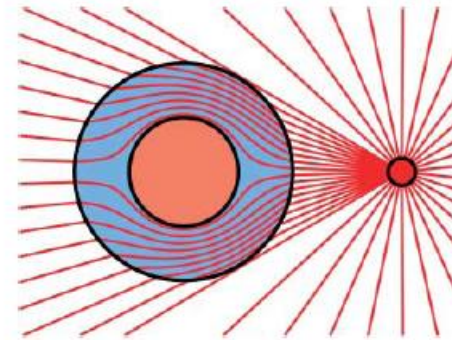
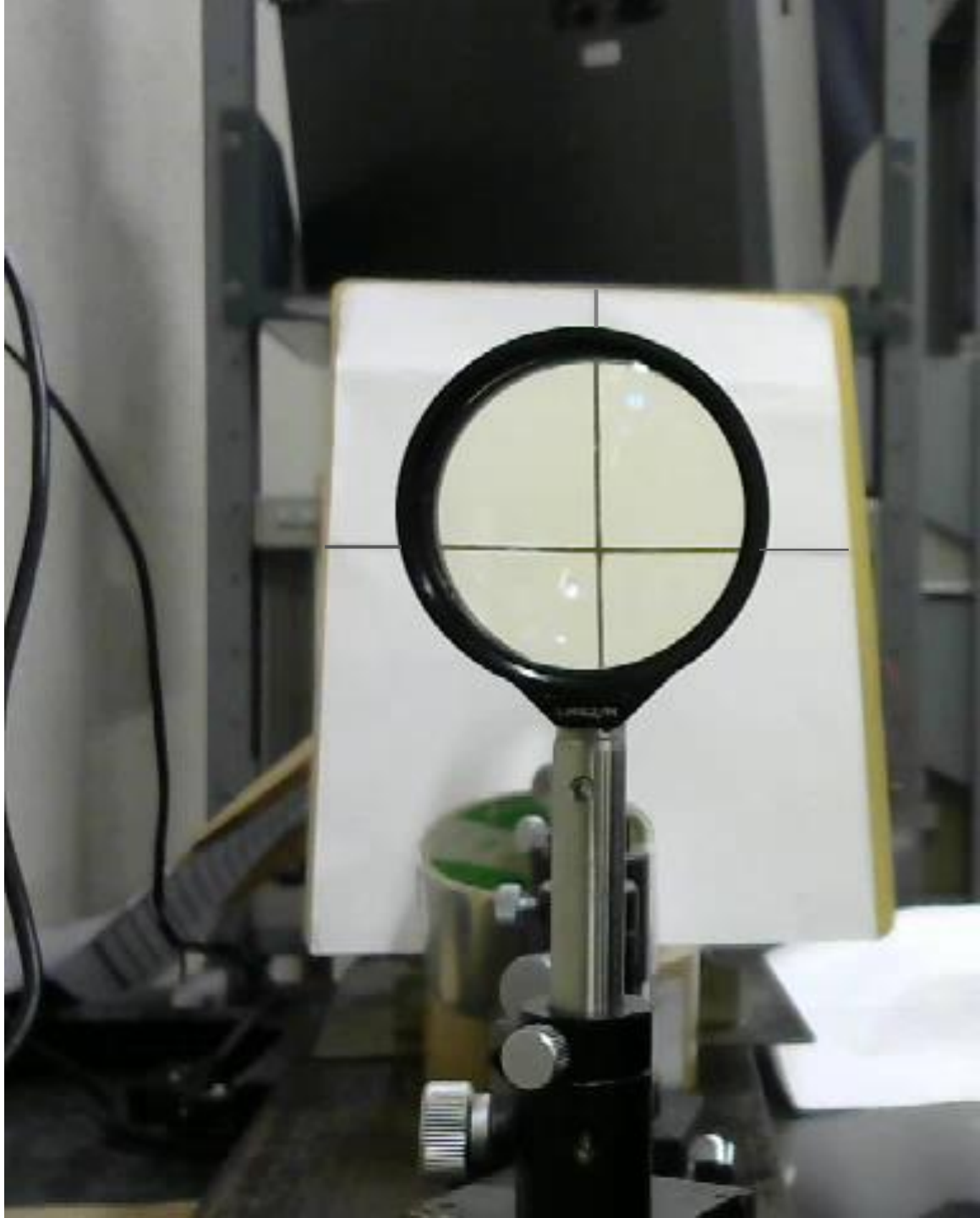
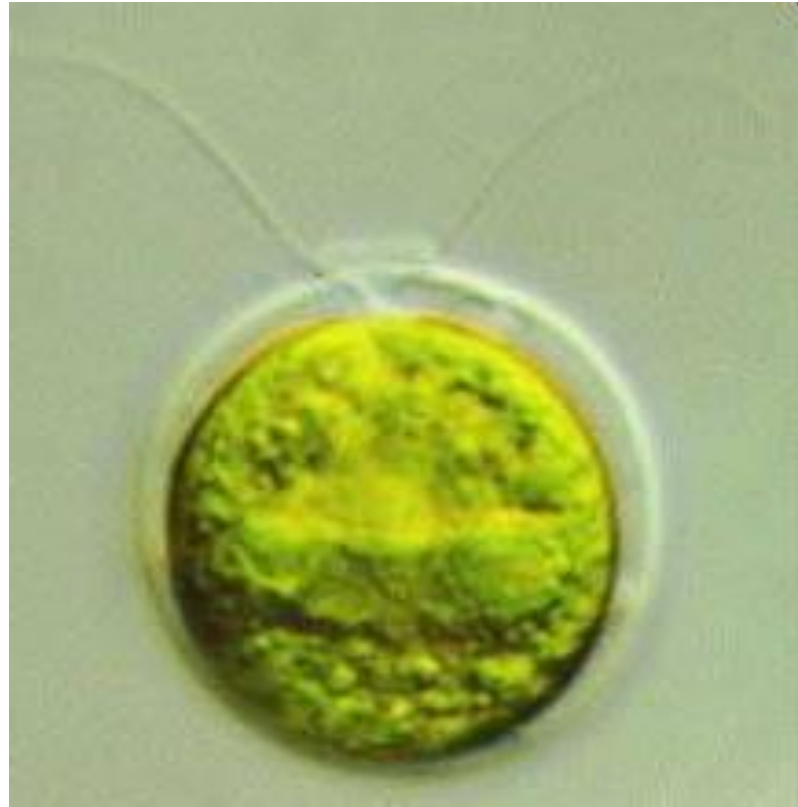


Fig. 3. A point charge located near the cloaked sphere. We assume that $R_2 \ll \lambda$, the near-field limit, and plot the electric displacement field. The field is excluded from the cloaked region, but emerges from the cloaking sphere undisturbed. We plot field lines closer together near the sphere to emphasize the screening effect.

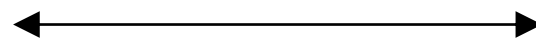


不思議な光
光の輻射圧
屈折率のゆらぎの可視化
緑藻細胞で遊ぼう

クラミドモナスで遊ぼう



単細胞緑藻



7~8 μ m

光をエネルギーにする

研究: 光合成を利用した光水素発生

デモ実験まとめ

1. Sagnac干渉計 干渉で消える光
2. 回折 可変スリット ピンホール ロンキールーリング
3. ひもの波 定在波
4. 電子レンジ マイクロ波の共鳴とLED発光で波長を体感
5. 偏光、複屈折(液晶モニタと偏光板で発色、偏光板にセロテープで発色)
6. 円形の虹
7. ホログラフィ 石井先生
8. 光学隠蔽 cloaking
9. 再帰性反射による空間に浮かぶ光
10. 表面プラズモン(プリズムの鏡が裏から見ると色づく)
11. 曲がる光
12. 光の輻射圧
13. 屈折率のゆらぎの可視化
14. 緑藻細胞
15. 研究室見学

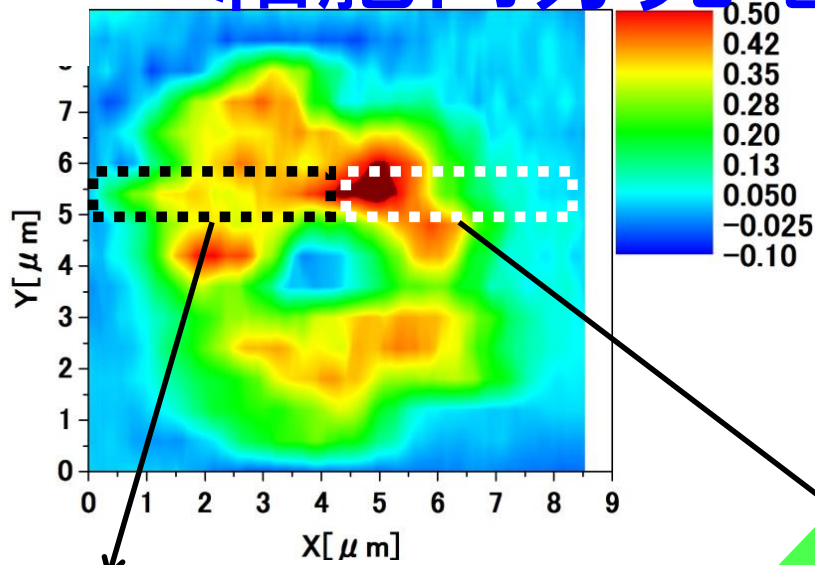
どんな研究をしているか？

1. 医学を物理学にするための多次元細胞診断
2. エネルギーの熱緩和・散逸過程の計測と制御
3. 非線形光学
4. プラズモニクス

光で物質を探る(分光)

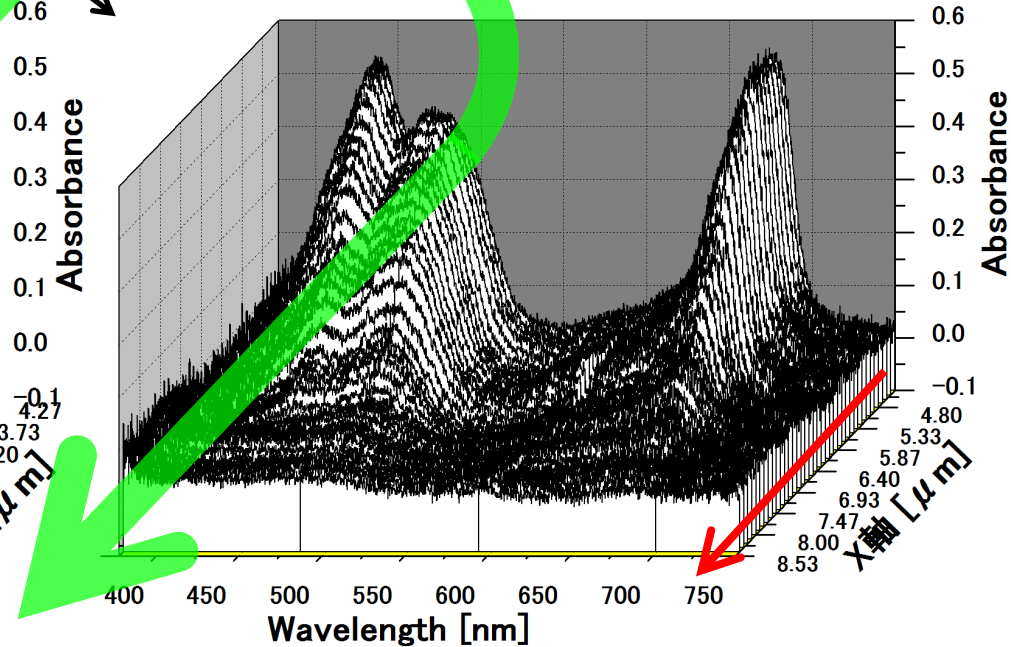
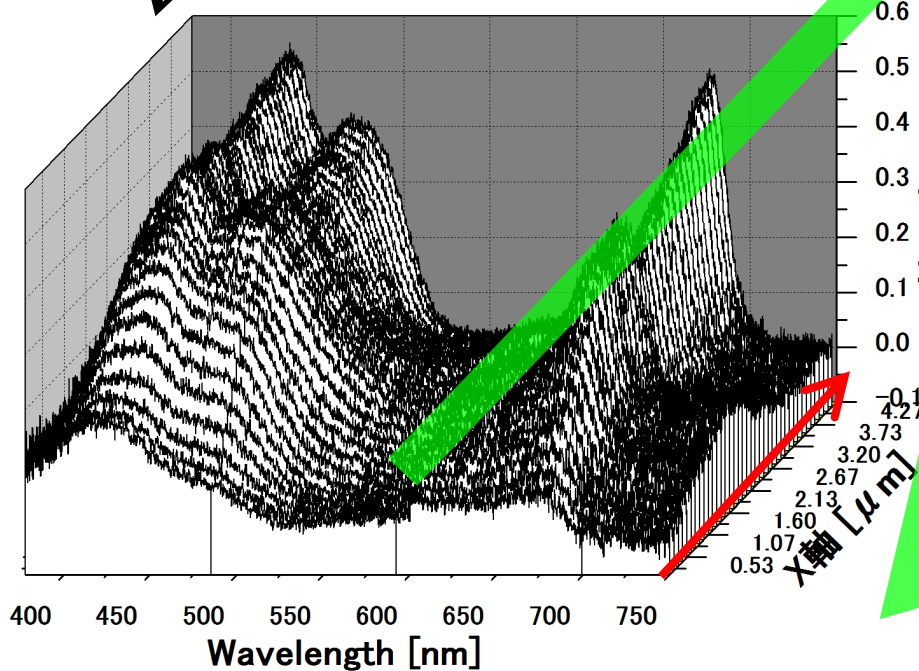
細胞内分光地図を一瞬で取得

回折、虹、緑藻細胞



全 $A(x, y, \lambda)$ の測定時間0.05秒

1 μm 空間分解能

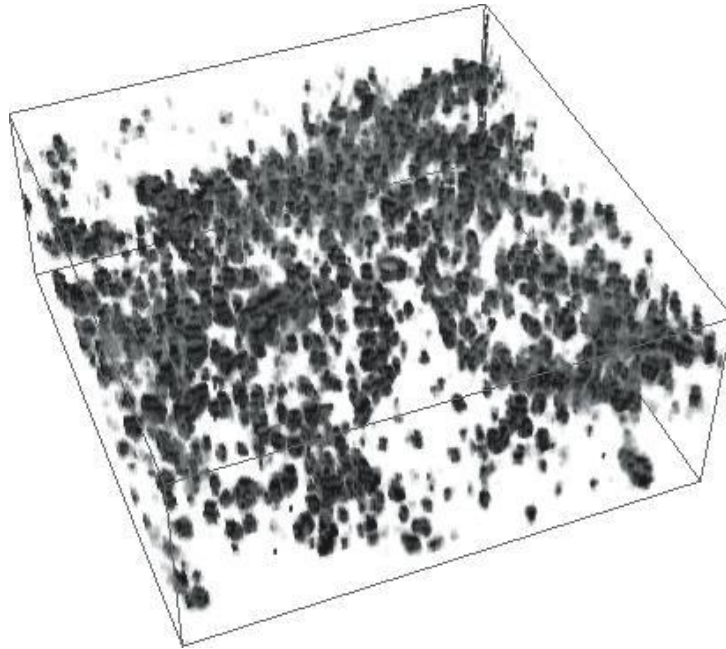


$A(x, y = 5.4 \mu\text{m}, \lambda)$

光で見る(透視する・拡大する)

これまで見えなかったものが見える!!

マウス皮膚がん3Dイメージ

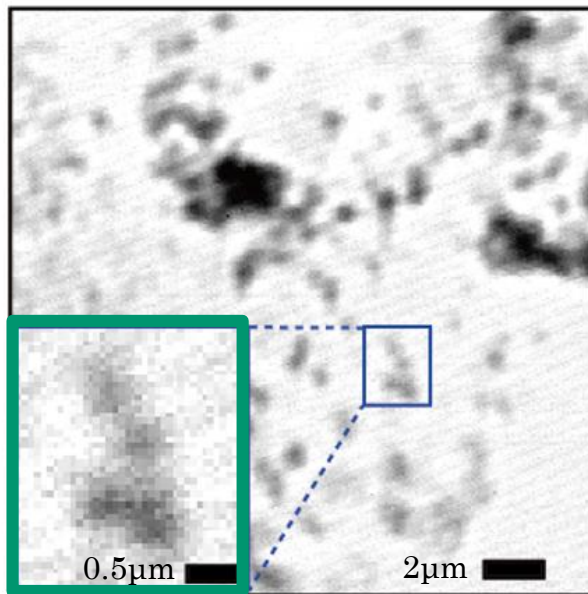


屈折率ゆらぎの可視化

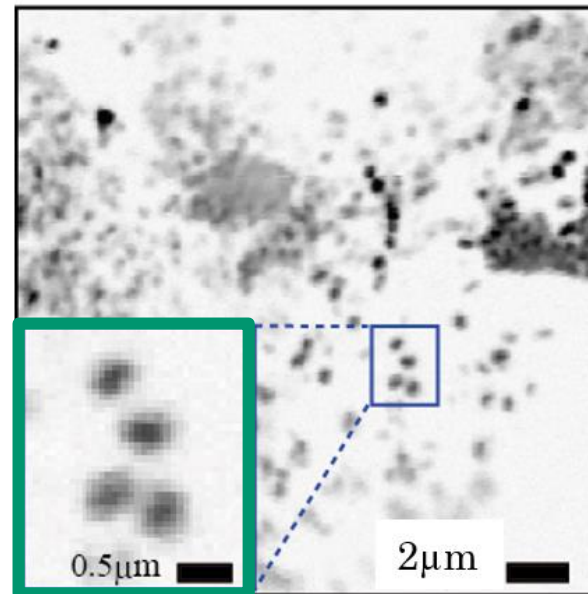
1.4倍の高解像度(138nm)
3D像→高信頼性の診断
20x20x10 μm^3

マウスの皮膚がん中に分布しているメラニン顆粒の3次元分布(これまで2次元)のイメージングに初めて成功した。メラニン顆粒は皮膚のメラノーマ(非発光性)転移を引起す。これを超解像で、かつ生検を要しない非侵襲的方法で観察した。

蛍光によらない超解像光熱顕微鏡の開発



従来の光学顕微鏡像



光熱顕微イメージ

マウス悪性黒色腫瘍(メラニン色素)

支える技術は**超解像光学顕微鏡** 将来のノーベル物理学賞？

2014年ノーベル化学賞

- 可視光の光を使って、光の回折限界を超える空間分解能
- ・局在化顕微鏡
- ・誘導放出抑制顕微鏡
- ・構造化照明顕微鏡 (Nobel賞対象ではない)

通常のレーザー顕微鏡はすべて
蛍光を利用
生体試料は普通非蛍光性なので
蛍光ラベル処理必要



米ハワード・ヒューズ医学
研究所
Dr. Eric Betzig



独マックスプランク研究所
Dr. Stefan W. Hell



米スタンフォード大学
Dr. William E.
Moerner

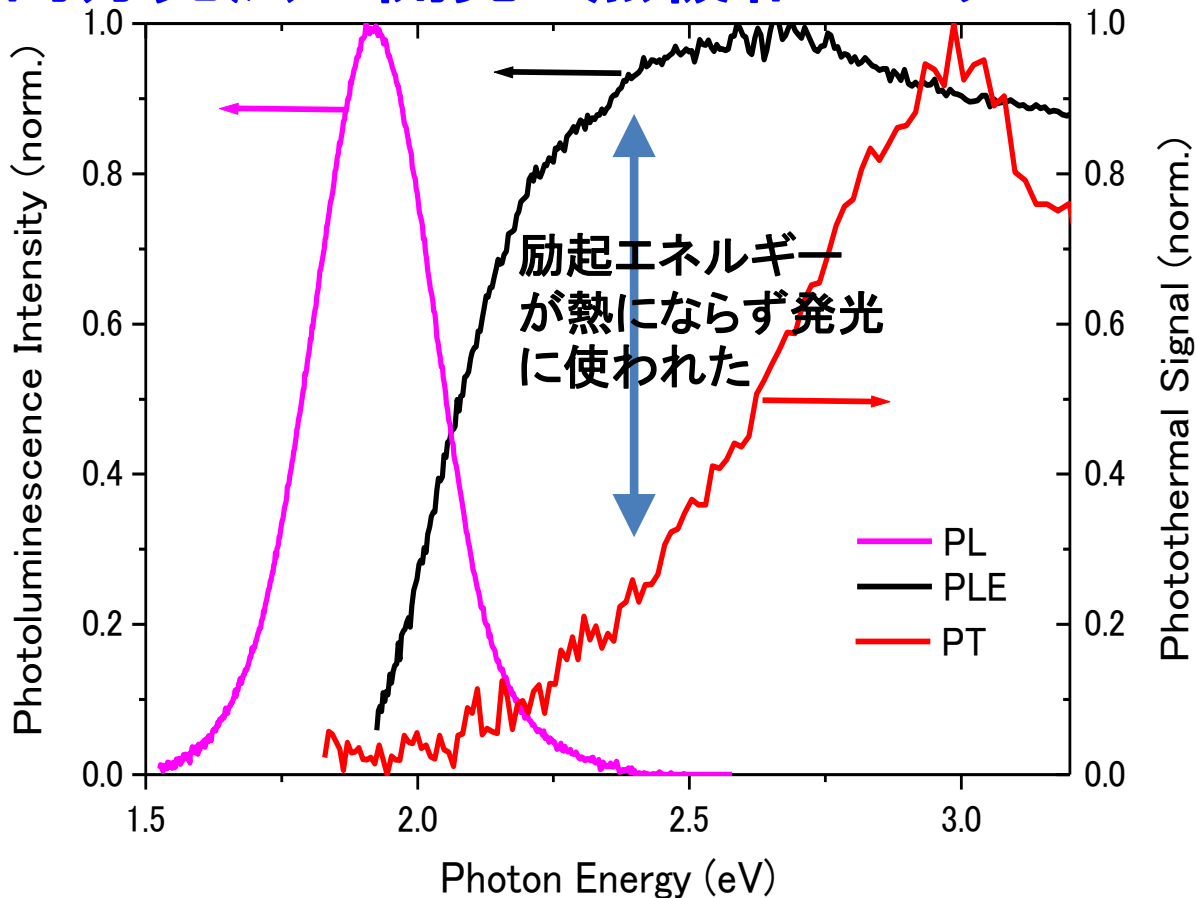
全員物理系

次の開発課題
蛍光ラベルなしでも、散乱や吸収での実現

Sagnac干渉計光熱偏向分光法の開発と熱緩和スペクトル

$$1+1=0$$

- 発光スペクトル
 - 発光励起スペクトル
 - 発熱励起スペクトル (光熱スペクトル)
- 光→熱 を検出



白色LED用の高発光量子効率の
赤色蛍光体粉末CaAlSiN₃:Eu²⁺

検出感度 3.0×10^{-5} K (S/N~1)

世界最高感度の光熱偏向分光法を開発

重力波検出のLIGOに刺激をうけて

現在 さらに桁違いに高感度の光熱法を開発中

光をエネルギーにする

太陽光と水から高効率水素発生を目指す

低コスト: 植物は自ら増殖、光を無駄なく利用
安全、無負荷: 材料(C,H,O,N)は無限、無害

緑藻細胞

J Plant Res (2016) 129:771–779

DOI 10.1007/s10265-016-0825-0



CrossMark

REGULAR PAPER

2016

Hydrogen photoproduction in green algae *Chlamydomonas reinhardtii* sustainable over 2 weeks with the original cell culture without supply of fresh cells nor exchange of the whole culture medium

Takafumi Yagi¹ · Kyohei Yamashita¹ · Norihide Okada¹ · Takumi Isono¹ ·
Daisuke Momose¹ · Shigeru Mineki² · Eiji Tokunaga¹



単細胞緑藻クラミドモナスにより、新鮮な細胞の供給や培養液の全交換なしに2週間以上継続する光水素発生を実現

光を操る(非線形光学)

電圧で水の屈折率変化

東京理科大・電通大の共同研究

2008年7月15日 東京新聞 朝刊

水を入れたコップの底が妙に浅く見えるのは、光が屈折して進行方向が変わるからだ。電圧をかけると、光の屈折率が大きく変化することが、東京理科大と電気通信大の共同研究で分かってきた。光通信の素子にも応用の可能性があるという。米物理学学会誌に発表された。

光通信素子に活用も

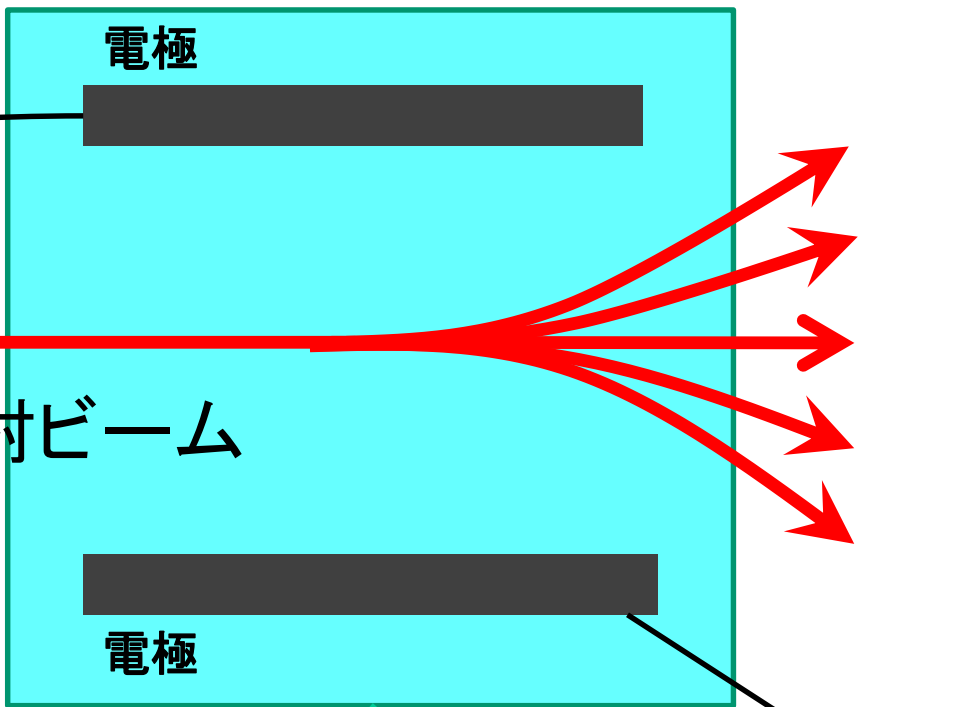
電圧をかけたとき、電圧の正負によって屈折率が変わり、光の進行方向が変わる性質は「ポッケルス効果」と呼ばれ、結晶などで確認されている。だが、水がどの程度この性質を示すかがどの程度この性質を示すかがどの程度この性質を示すか

水の屈折率の変化



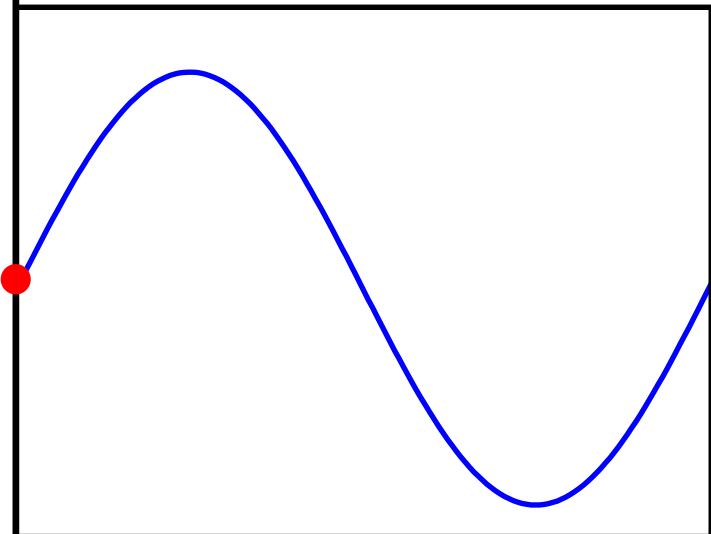
水の巨大なポッケルス効果の発見(2008)

曲がる光



入射ビーム

印加電圧



電解質水溶液で満たされたセル

ポッケルス効果 の特徴

非線形光学

印加電場に比例する屈折率変化

$$\Delta n = n_1 F$$

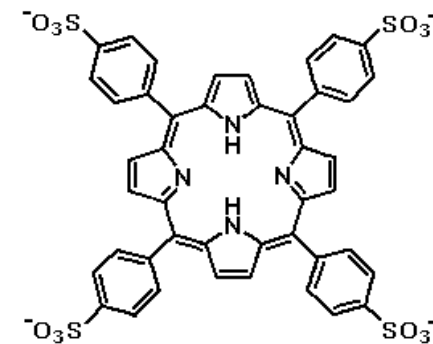
電場 F の向きが変わると
屈折率変化の符号が反転

光で分子を操作する

分子会合体の自己形成



ポルフィリン分子 単量体(モノマー)溶液



TPPS

光の輻射圧で1nmの分子を集合させ、会合体を作る

輻射圧

2017.4.28
科学新聞

高効率分子会合体 理科大が測定

東京理科大学理学部の徳永英司教授、小林孝嘉同大客員教授（電気通信大学）の研究グループは、光誘起力によって室温の水中も1nmサイズの分子を集合させ、平衡状態では存在しない会合数や分子配置の分子会合体を生成することに成功した。しかも、この応答が室温の激しい分子の熱運動の大きさに対して、既知の公式で計算できる光の圧

力による効果から予想されるよりも4桁も大きな生成効率で起こっていることを突き止めた。

研究グループでは、代表的な分子会合体であるシアニン色素J会合体、ポルフィリンJ会合体について20年以上の研究歴がある。徳永教授によると「ポルフィリンJ会合体の電気光学効果については、最初、ポリマー膜試料で会合

プラズモニクス

表面プラズモン

ヤヌス粒子 = 双面粒子

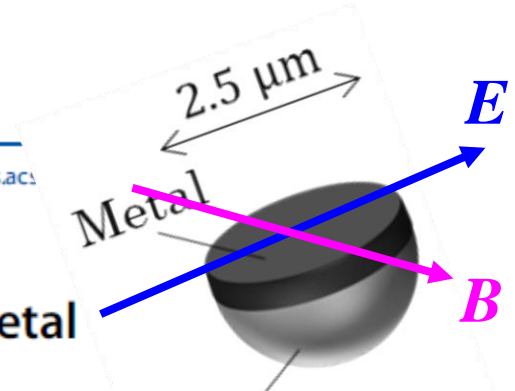
特許願2016-071706 2016.3.31 原田 (積水化成品工業) 徳永 相沢(卒研生) 瀬戸

LANGMUIR

Cite This: Langmuir 2017, 33, 14684–14690

pubs.acs

2017

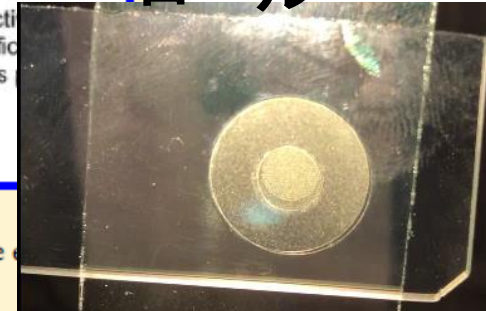
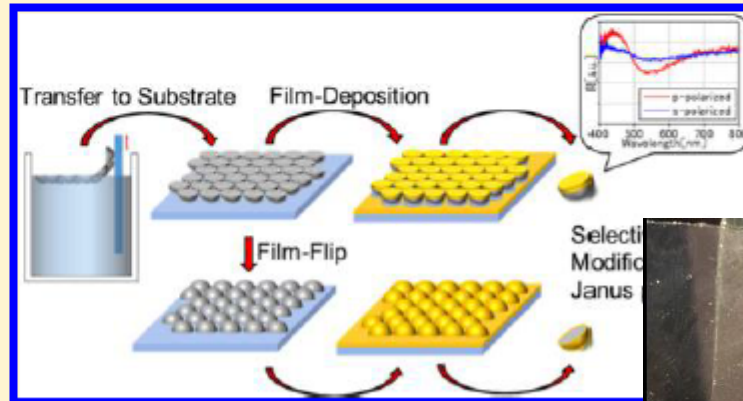


ニッケルコート半球ヤヌス

世界初の半球プラズモニックヤヌス粒子

電場と磁場で半球の方位を自由にコントロール

ABSTRACT: Asymmetric-shaped particles (the Janus particle) are difficult to be arranged in a uniform orientation on a solid substrate. This difficulty prevents further modification of the selective surface of the particles for fabrication of the Janus particles with anisotropy of the shape and surface. We successfully arranged hemispherical particles in a uniform orientation at the air–water interface. The particles were arranged on the solid substrate in a uniform orientation by transferring the particle film onto the substrate. This arrangement enabled the fabrication of the Janus particles with anisotropy of the shape and surface by selective deposition of a film on either the equatorial plane or the spherical surface. Additionally, we demonstrated the function of the microscopic Kretschmann geometry for excitation of the surface plasmon polaritons of a thin metal film on the plane of a single hemispherical particle.



1年の始めのJanuaryは、ローマ神話で「事の始まりと終わり」を司る神Janus(ヤヌス)から

銀コート半球ヤヌス粒子

表面プラズモン共鳴示す半球ヤヌス粒子

理科大が作製 特異性解明成功

東京理科大学理学部の徳永英司教授研究室チームと積水化成品工業の研究グループは、世界で初めて半球ポリマー微粒子の赤道面に金属製膜した「ヤヌス粒子」を作製し、その特異な光・電場・磁場応答を明らかにすることに成功した。

同研究室では、マイクロマシン的一种としてヤヌス粒子に光照射したり電場を印加したりして動かす研究に刺激を受け、クラミドモナス（単細胞緑藻）の走光性と同研究室で最近開始している表面プラズモンの研究から発想して、半

球透明微粒子の赤道面に金属成膜できれば半球面側から光照射してプラズモン共鳴により光に向かってくる粒子（microswimmer）が作れるのではないかと考えたのが始まりである。一方で積水化成品工業でも半球粒子（これ以外にも様々な形状の粒子を作製している）の応用法を探していることから、半球粒子の提供を受けて共同研究を開始することになった。

ヤヌス粒子とは、その名称が2つの顔を持ったローマ神に由来する、2つ以上の異なる物理・化学的性質をもつ表面・形状で構成さ

れる粒子のこと。この赤道面にのみ金属製膜した半球粒子は、空気-水界面で半球粒子を同じ向きに配向させて並べる汎用性の高い簡便な技術の開発により実現した。

研究により、直径2.5μmの金属コート半球ヤヌス粒子は、球面側からの光照射で金属の種類によって異なる共鳴波長をもつ表面プラズモン共鳴を示すこと、高反射率をもつ銀を製膜して電場で反射・透過をスイッチできるシャッターとして機能すること、強磁性体のニッケルを製膜して電場・磁場で水中の粒子の向きを完全にコントロールできることが明らかになった。

今後、まだ予備的にしか確認で

きていない走光性を確実な実果として確認したいとしている。ヤヌス粒子が赤道面をレーザーに向けているときは、レーザー離れ（輻射圧で）、球面を向いているときはレーザーに向かうプラズモン共鳴吸収による熱泳（で）運動をする可能性がある。永教授は「ニッケルなどの強金属製膜半球粒子で、磁場とをかけて向きを制御して、光したり引いたり、横に動かしたりすることができれば面白い。り、電場・磁場・光を組み合わせて運動の向きを自在に制御でmicroswimmerになることを期待しています」という。

ほかに、適切な周波数、振

研究室を支えるオリジナル技術

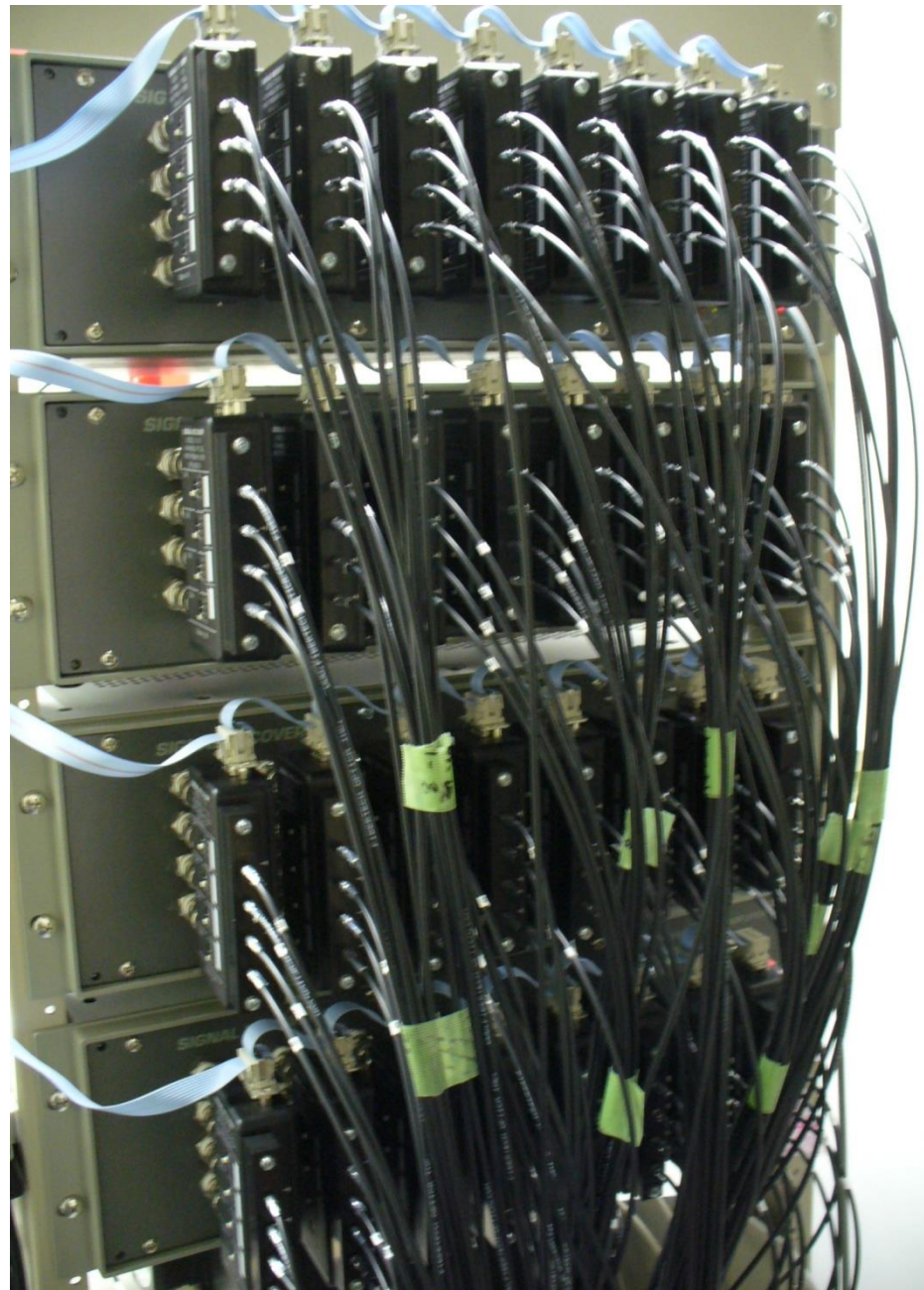
特許第3568847号 (2004.6.25登録)

世界初の多チャンネルロック インアンプを開発

外部刺激(光励起・電場印加)
による透過光強度の微小変化
(10^{-6})を測定

128台のロックインが並列稼動

透過率変化スペクトル
シングルロックインで2時間
の測定が1分で終了



1号館5階 超解像光熱顕微鏡

6号館3階 非線形光学のための
多チャンネルロックインアンプ

このあと時間がある方はどうぞ

終わり