



UT-PSC  
Photon Science Center of the University of Tokyo

---

青森県立三本木高等学校附属中学校  
サイエンスアカデミー 2015/11/18

# 光の正体と究極の暗号

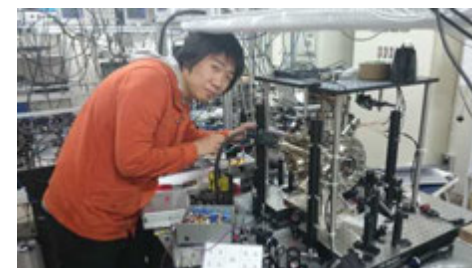
---

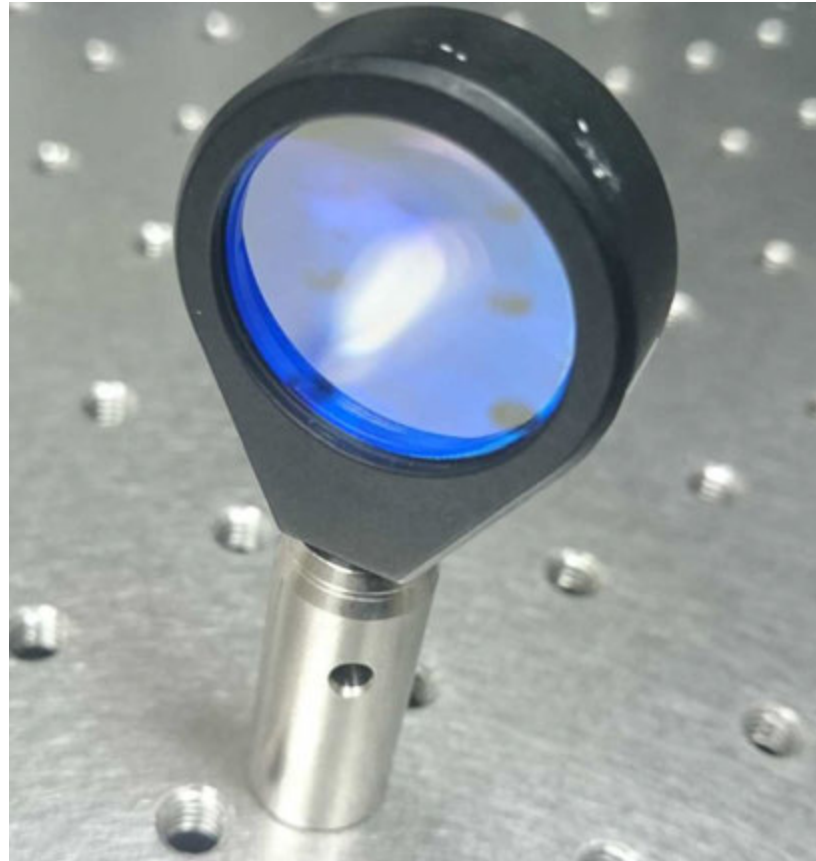
東京大学 大学院工学系研究科光量子科学研究センター

小芦 雅斗  
佐々木 寿彦  
鈴木 泰成

# 小芦研究室の紹介

- 小芦研究室は、
  - 光の不思議な振る舞いについて
  - 光の奇妙さを利用した暗号  
についての研究をしています。
- 午前中前半担当: 鈴木
  - 原子を使って光を操作する実験をしています。
  - 光の基本的な性質について説明します。
- 午前中後半担当: 佐々木
  - 光の性質を利用した、通信や暗号の理論を研究しています。
  - 通信の仕組みについて説明します。



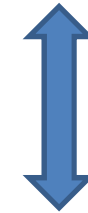


光ってなんだろう

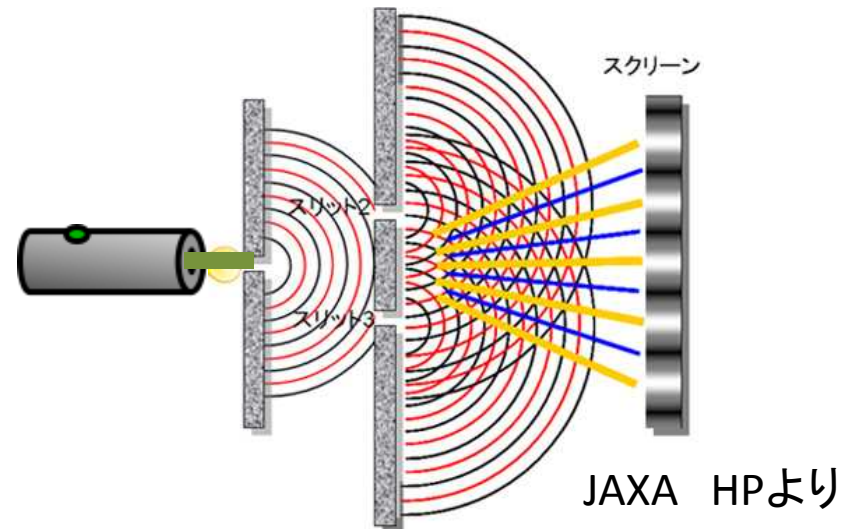
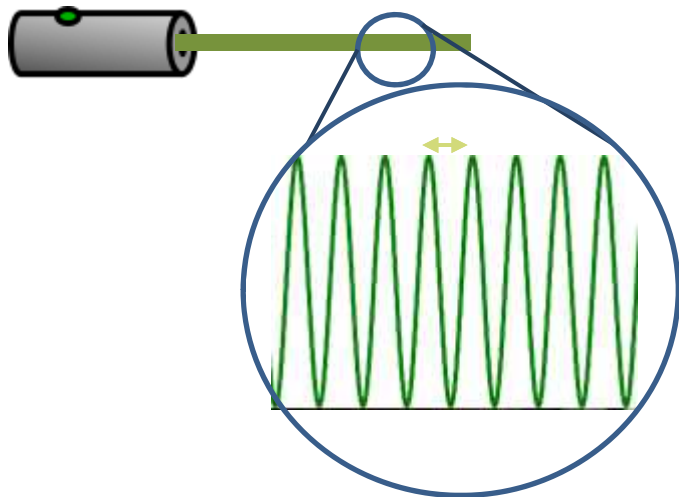
# 光は波である



トマス・ヤング (1773-1829)

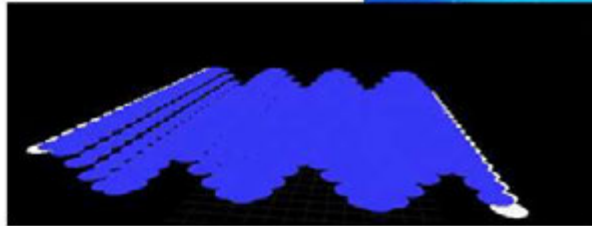


同じ！

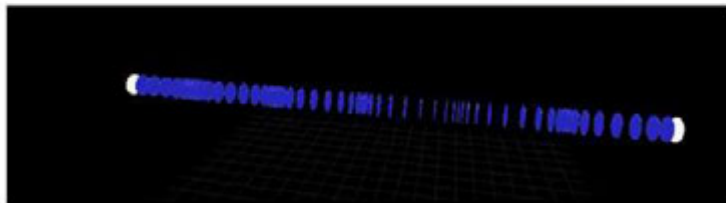


# 光の波の特徴

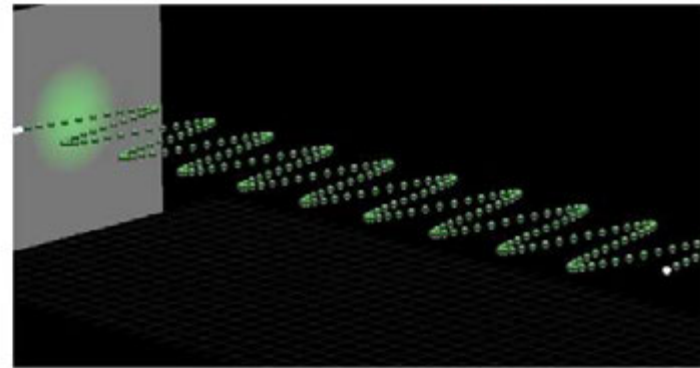
海の波は上下にしか揺れない



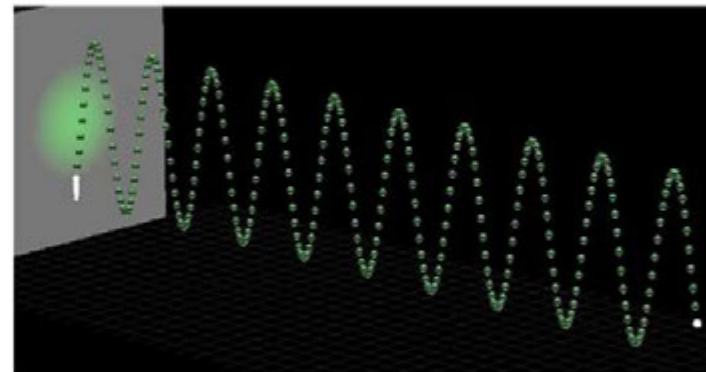
音の波は前後にしか揺れない



光は電気の波なので、上下と左右の2つの軸に対して揺れている！  
この揺れの向きのことを偏光という



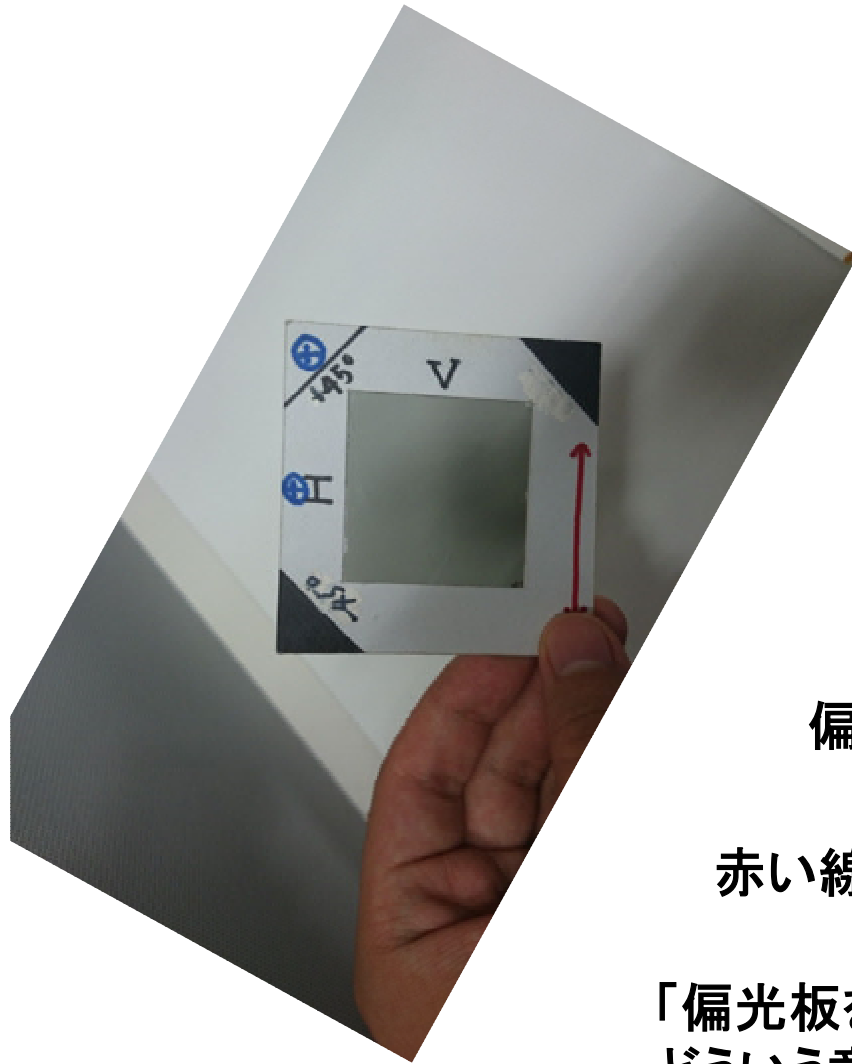
左右の揺れ = 横偏光



上下の揺れ = 縦偏光

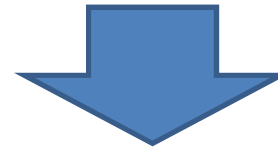
実験 ①

# 偏光板を使ってみよう



## 偏光板

光を当てると赤い線に沿って振動する部分だけが通過できる



偏光板を通して見るかで違いはあるだろうか？

赤い線の向きによって見えるものに違いはあるか？

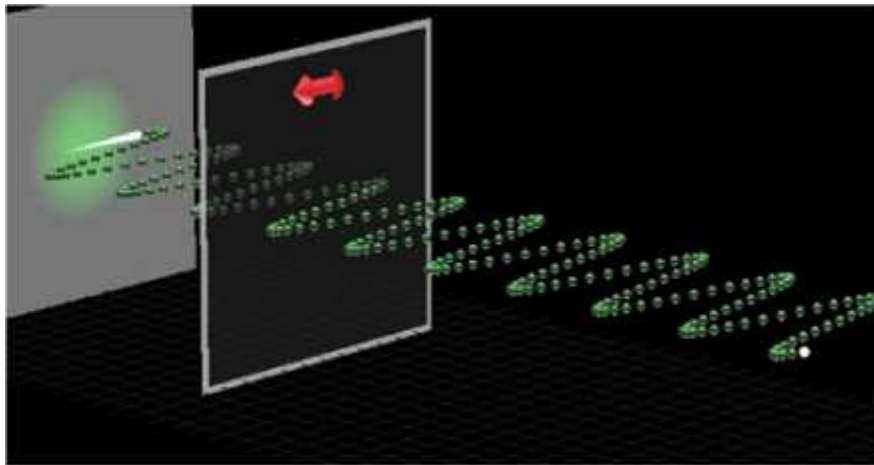
「偏光板を回して見えたり見えなくなる」とはどういう意味があるんだろう？

実験 ①

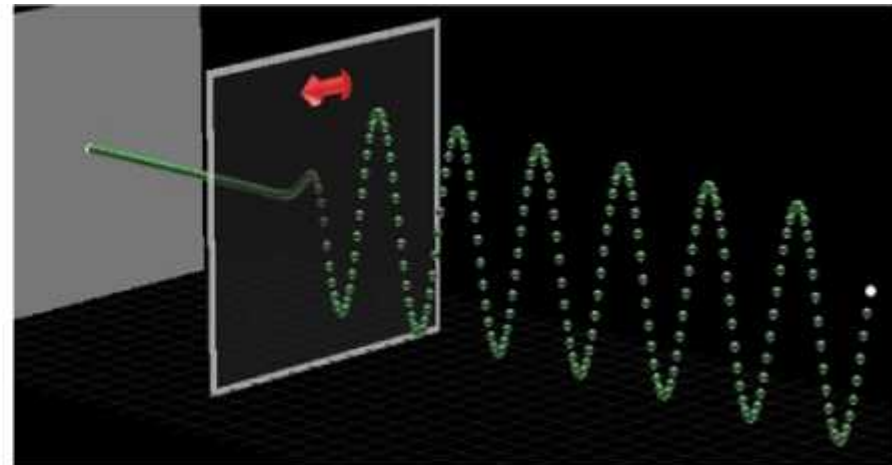
# 偏光板は特定の向きの振動だけ通す

赤い線を左右の向きに置くと

左右の振動(横偏光)は通過する



上下の振動(縦偏光)は吸収される

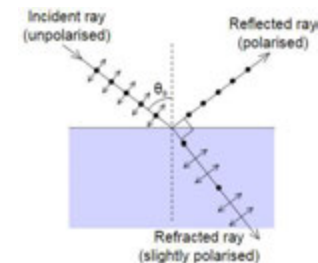


例えば...

斜めに浅く反射した光は、偏光板を回転すると消えたり見えたりする。  
(光沢があるものや黒いものを、斜めから見ると違いが分かりやすい。)



ものに写った光景の光は、特定の向きに強く振動している！



実験 ②

# 2つの偏光板を重ねるとどうなる？

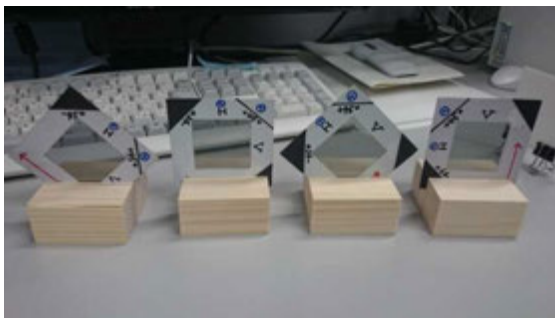
レーザーポインターを扱う時の注意

**絶対に光を直接覗きこまないこと！**

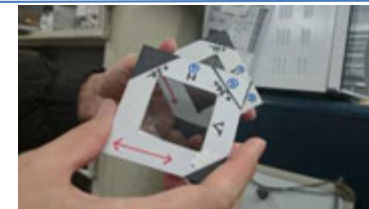
**顔を必ずレーザーより高い位置に！**



2つの偏光板を、配られた紙に書いてある角度で置いてみて、通過する光の明るさを調べてみよう



-45度    0度    45度    90度



時間が余ったら、自分で決めた角度で置いてみたり、レーザーを使わずに風景の明るさがどのように変わるか確かめてみよう



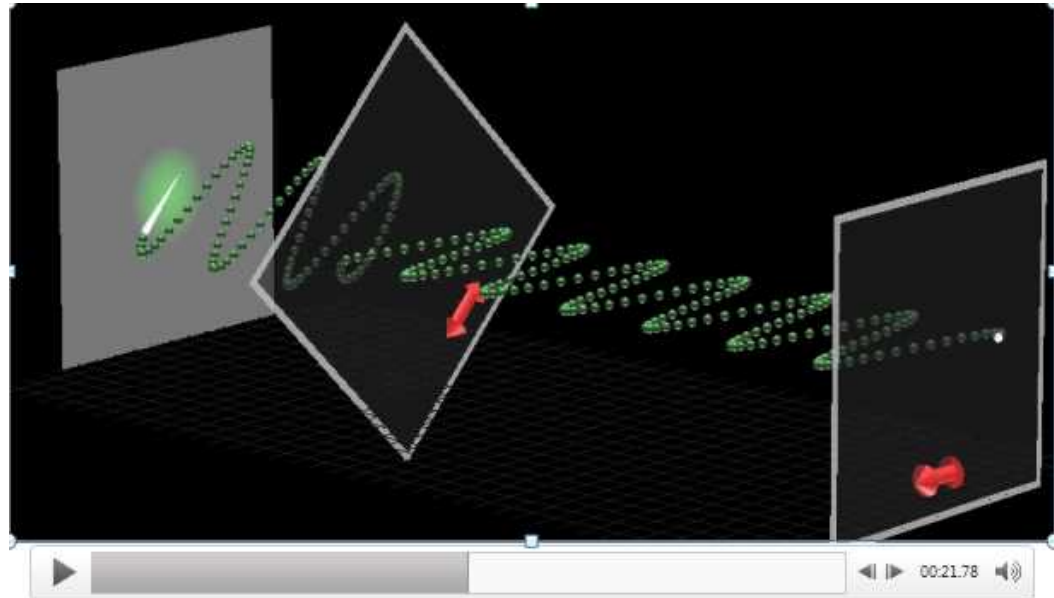
## 実験 ②

# 2つの偏光板を重ねるとどうなるか？

答え

偏光板1	偏光板2	明るさ
0度	0度	明るい
0度	45度	少し暗い
0度	90度	通らない
0度	-45度	少し暗い

明るさは2つの偏光板の  
角度の差で決まる！



## 分かること

- ・2つの赤い線が平行な時に、一番強く光が出る
- ・2つの赤い線が垂直な時に、光は全く出てこない
- ・この2つの中間では、光は徐々に強くなっていく

実験 ③

# 3つの偏光板を重ねるとどうなる？

赤い線が直行する2つの偏光板の間に、  
3枚目の偏光板を入れるとどうなるだろうか？



2枚のときの結果から、3枚目でどうなるかを予測して、実際に確かめてみよう  
どういう角度で三枚目を入れると最も変化があるだろうか？それはなぜだろうか？

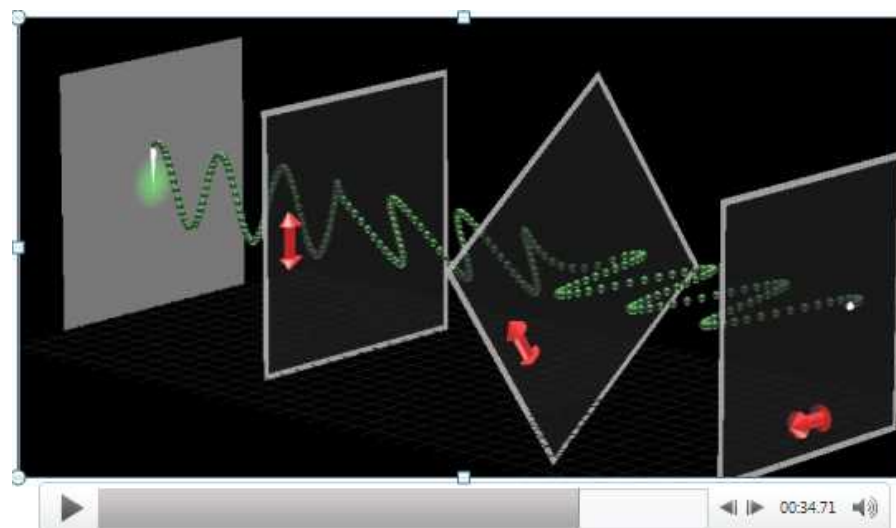
実験 ③

# 偏光板は特定の向きの振動だけ通す

元々光が通らなかった偏光板の組み合わせも、  
間に両方に**垂直でない偏光板**を置くと再び通るようになる！  
一番通るのは2つの丁度間の45度するとき。

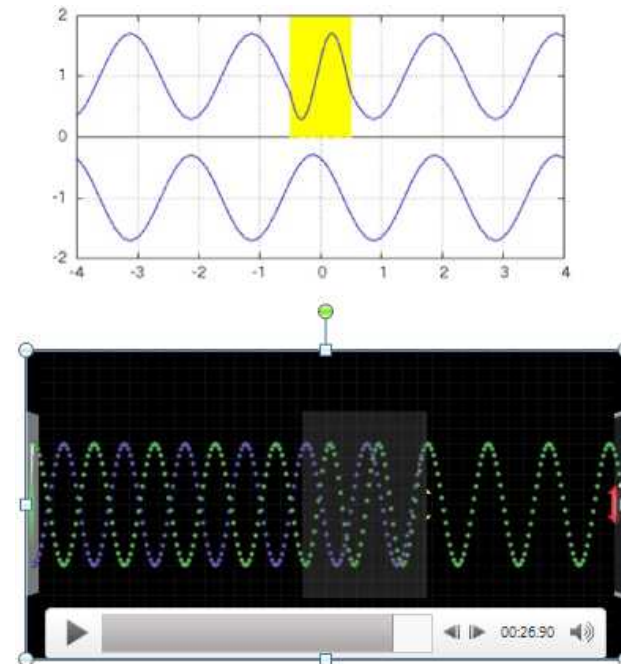
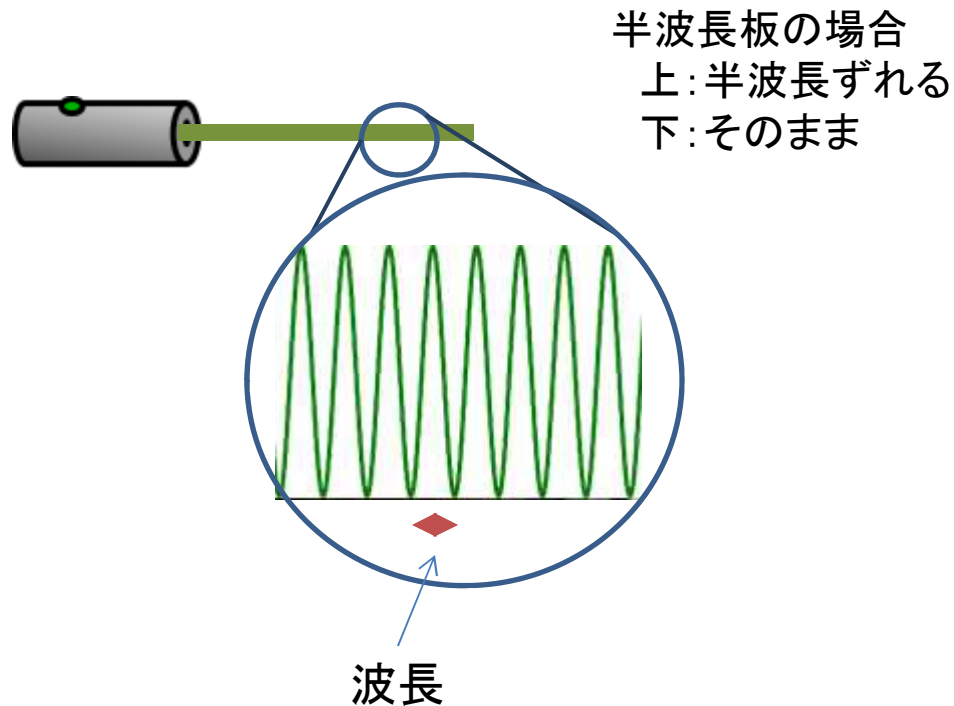
答え

偏光板1	偏光板2	偏光板3	明るさ
0度	置かない	90度	通らない
0度	0度	90度	通らない
0度	45度	90度	少し暗い
0度	90度	90度	通らない
0度	-45度	90度	少し暗い



# 波長板を使ってみよう

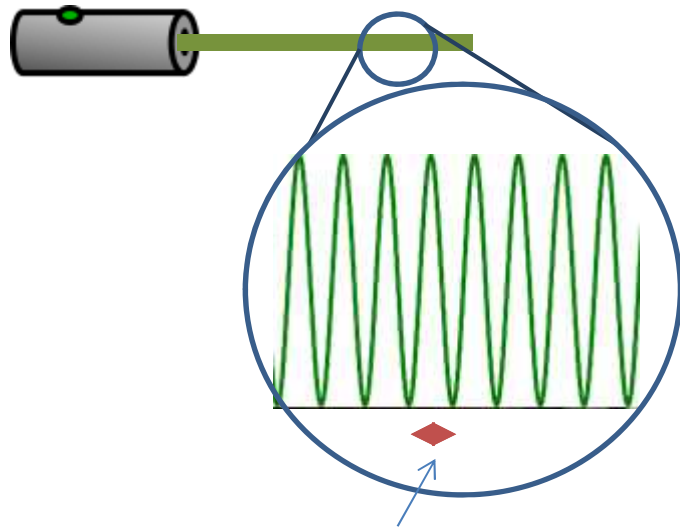
- 偏光板は、赤い線の向きの光だけを通す板だった。
- 波長板は、黄色い線の向きの光だけを「遅くする」ことができる。
  - 波の一回往復分の半分を遅らせるものを半波長板という
  - 波の一回往復分の1/4を遅らせるものを1/4波長板という



実験 ④

# 半波長板の働きを偏光板で調べよう

- 光の波長は凄く短いので、「遅れ」は見えない...
- だけど、一方の偏光の「遅れ」で偏光が変わるなら、偏光板で違いを見ることが出来る！



緑の光の波長はだいたい500nm = 0.0005mm

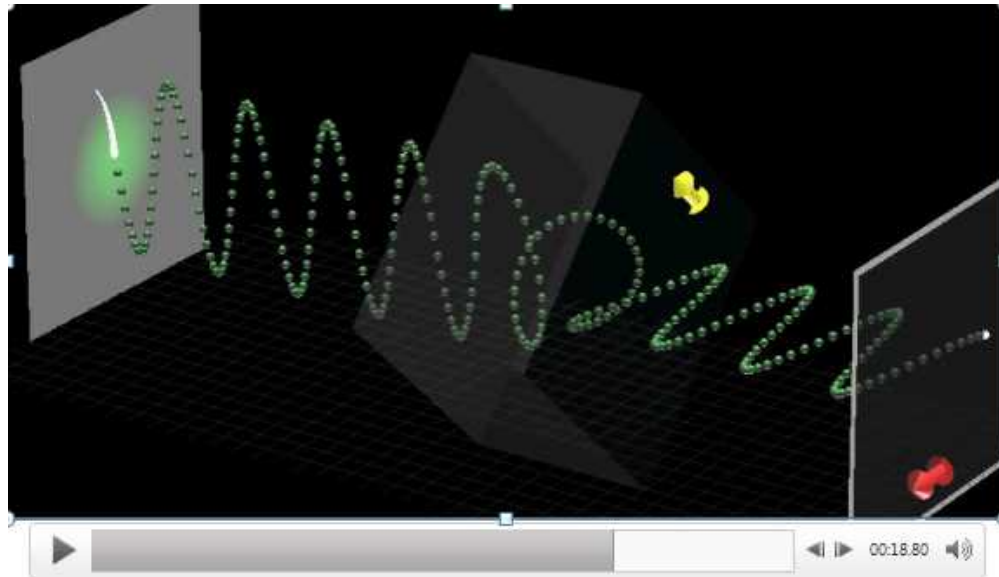
髪の毛のだいたい1/200長さ



## 実験 ④

# 半波長板の働きを偏光板で調べよう

- わかること
  - 赤い線を傾けた角度の、2倍だけ偏光の向きが回転している！
  - 偏光板は赤い線に沿った光が出ていたのに、なぜ？
- 理由：

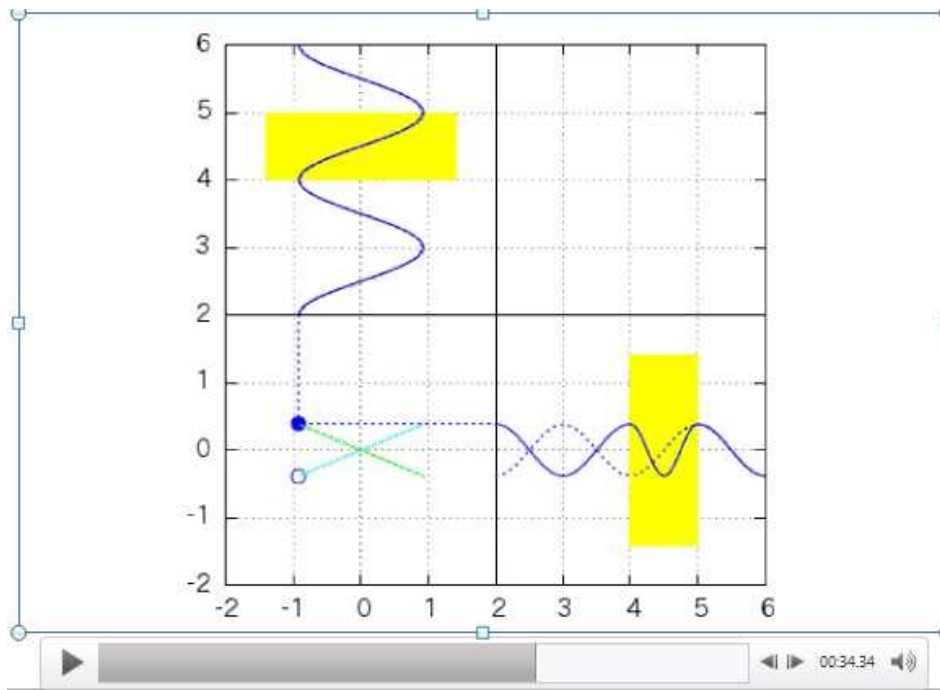


偏光板1	波長板2	偏光板3
0度	置かない	0度
0度	0度	0度
0度	22.5度	45度
0度	45度	90度
0度	90度	0度
0度	-45度	90度

## 実験 ④

# 半波長板の働きを偏光板で調べよう

- わかること
  - 赤い線を傾けた角度の、2倍だけ偏光の向きが回転している！
  - 偏光板は赤い線に沿った光が出ていたのに、なぜ？
- 理由:

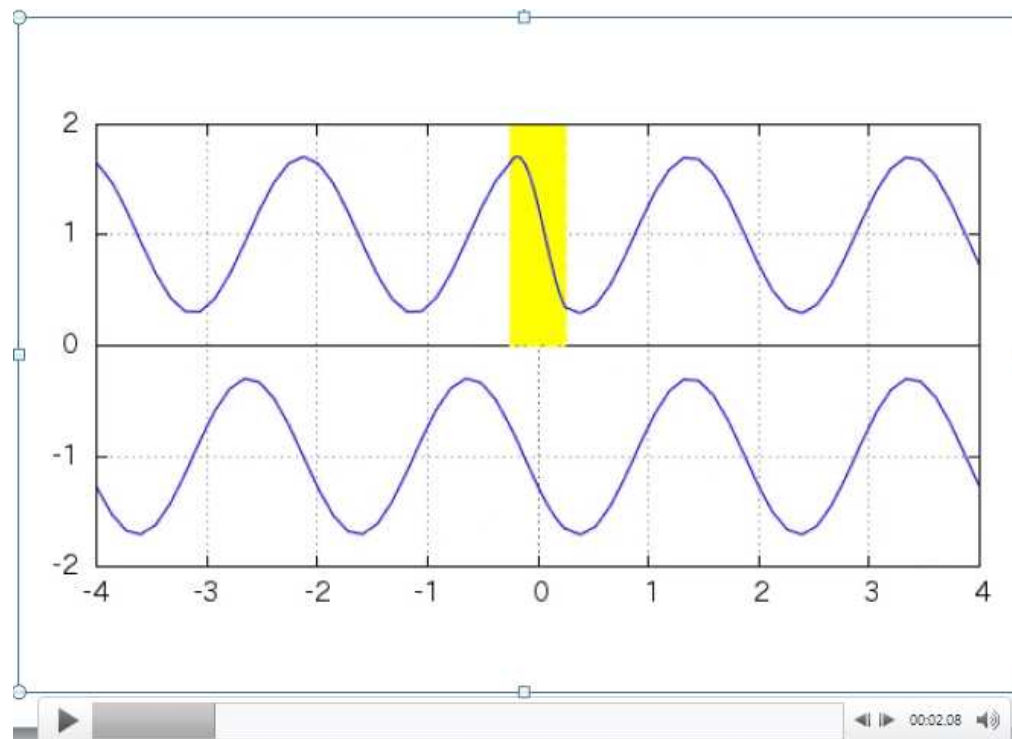


偏光板1	波長板2	偏光板3
0度	置かない	0度
0度	0度	0度
0度	22.5度	45度
0度	45度	90度
0度	90度	0度
0度	-45度	90度

実験 ⑤

# 1/4波長板のはたらきを調べよう

- 半波長板の、さらに半分だけ遅らせる1/4波長板は偏光をどう変えるだろうか？

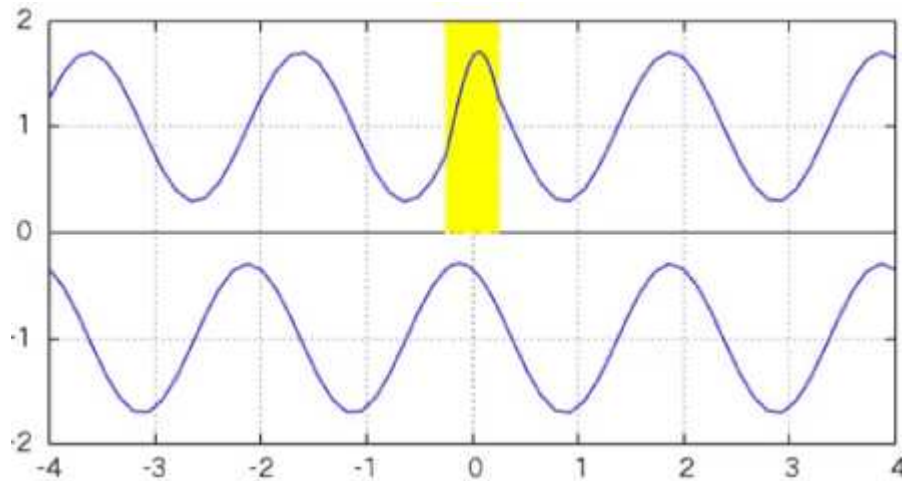




実験 ⑤

# 1/4波長板のはたらきを調べよう

- 半波長板の、さらに半分だけ遅らせる1/4波長板は偏光をどう変えるだろうか？
  - 1/4波長板は緑の線の方向の光を遅らせる。

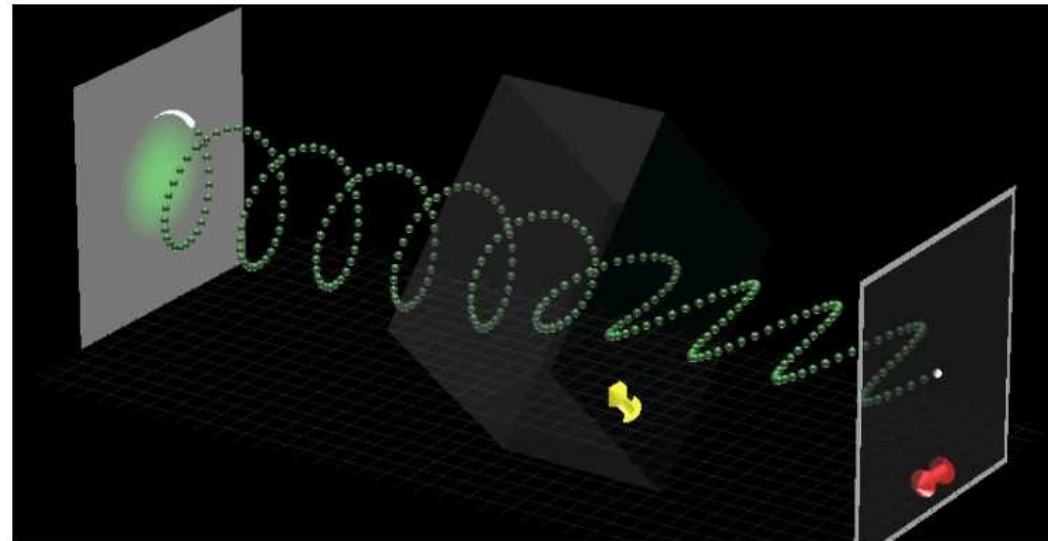
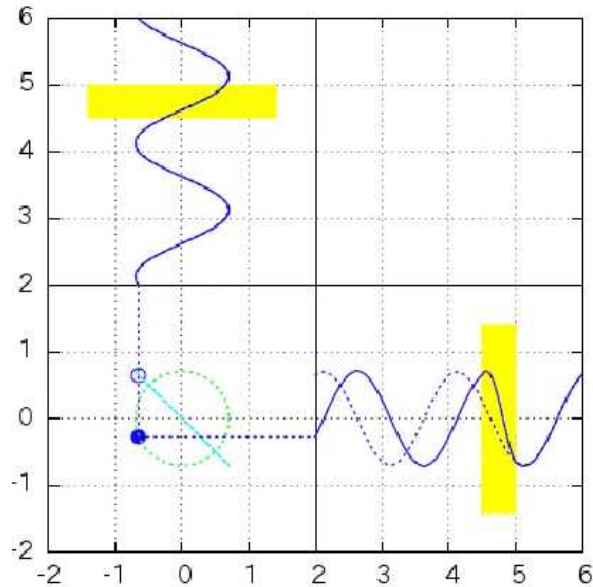


偏光板1	波長板2	偏光板3
0度	0度	全て同じ
0度	45度	全て同じ
0度	90度	全て同じ
0度	-45度	全て同じ

実験 ⑤

# 1/4波長板のはたらきを調べよう

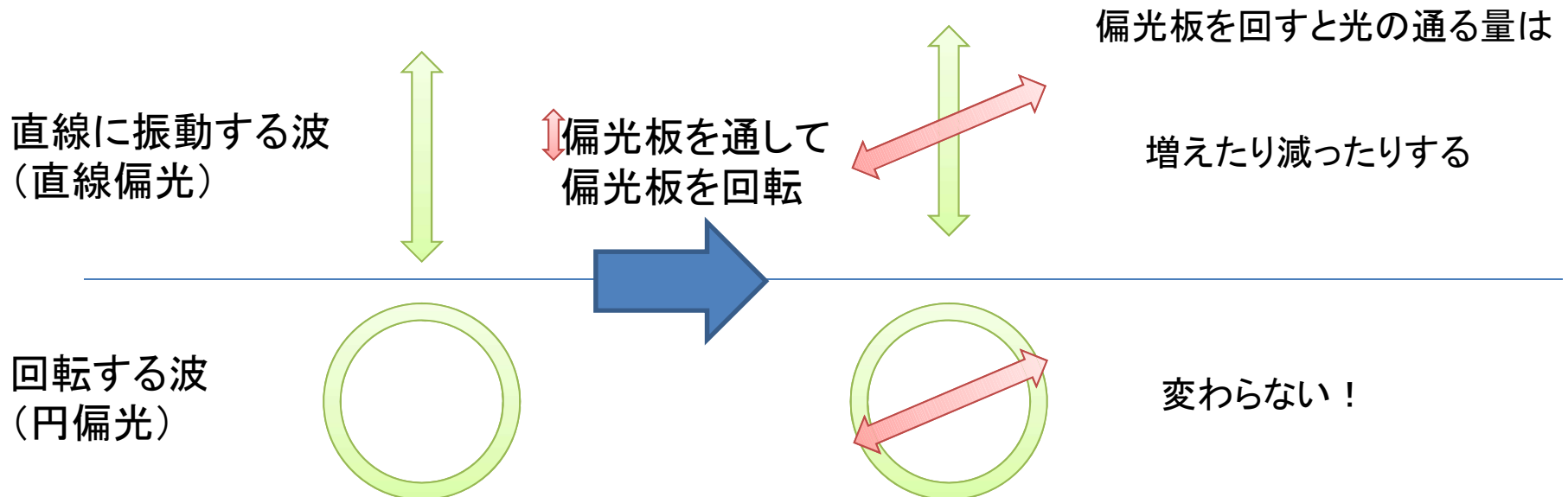
- 偏光板で違いがわからないから、1/4波長板は偏光を消してしまおう???
- 1/4波長をずらした時におきること



本当に円の波が出ているの？

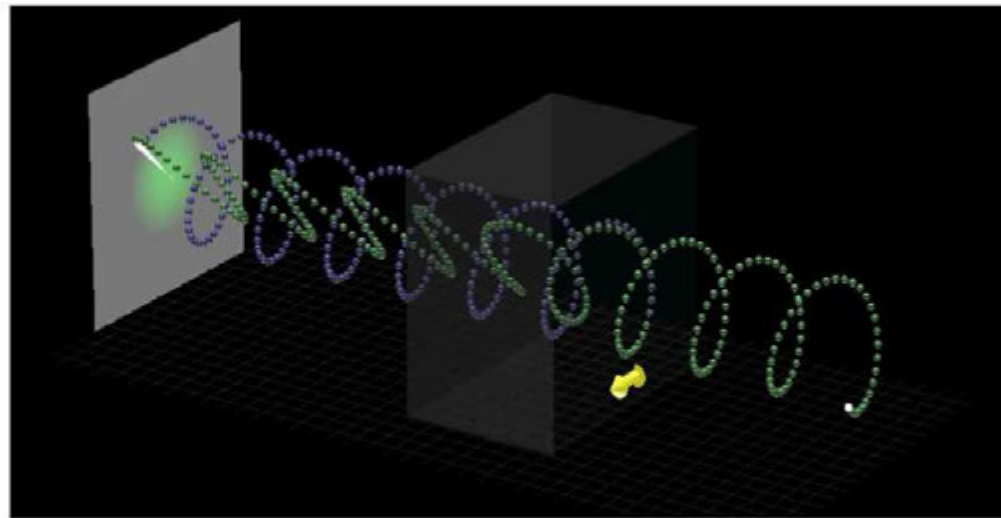
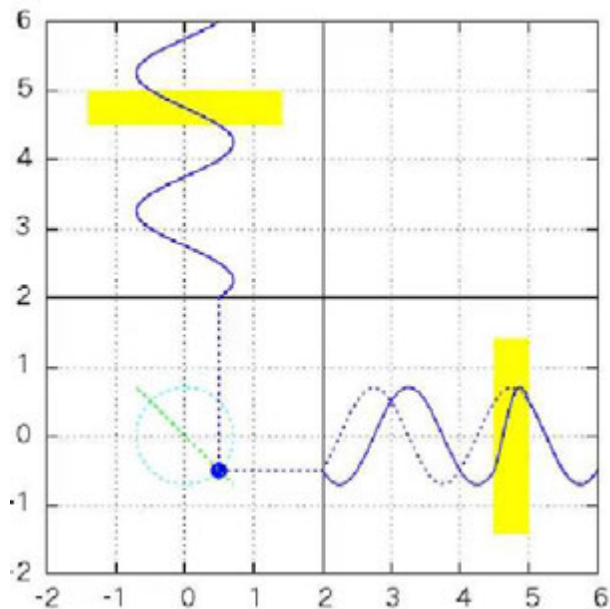
# 円の偏光？

- 円の波と、直線の波の大きな違いはなんだろう？
  - 直線は見る角度によって傾きが変わる
  - 円は、回転しても同じ円のまま！



# 円の偏光？

- 円の波にもう一度1/4波長板を通すと、直線の波に戻る。
  - よく考えると、1/4波長+1/4波長=半波長だから当たり前
  - 「縦偏光か横偏光か？」は「右回りか左回りか」に変換される



# 身近な偏光の応用1:カメラ



実験1でやったように、反射した光は特定の方向に強く振動している。この振動を偏光板で消してやると、水面や雪の「照り返し」が消せる

この性質は、釣りやスキーで使うサングラスでも使われる

偏光板なし

偏光板あり



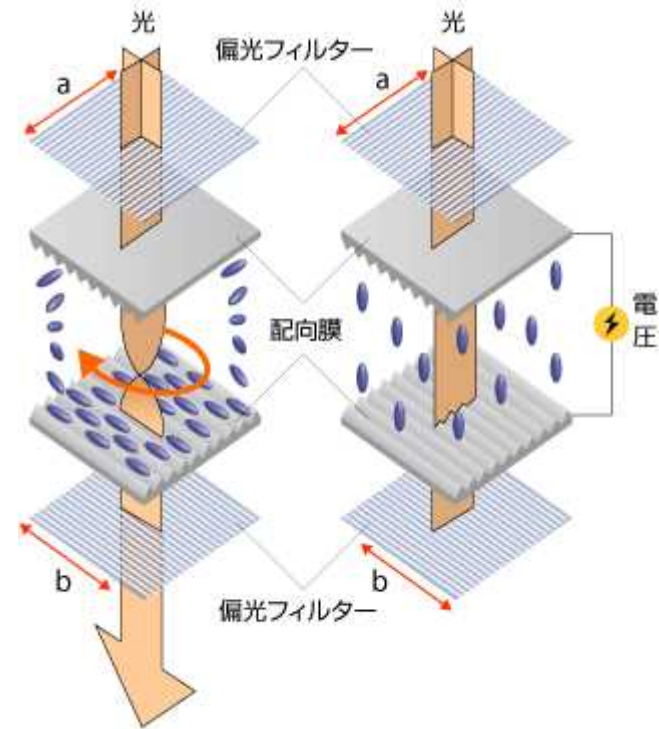
花鳥風月Visual紀行 HPより

# 身近な偏光の応用2: 液晶画面

## 液晶画面



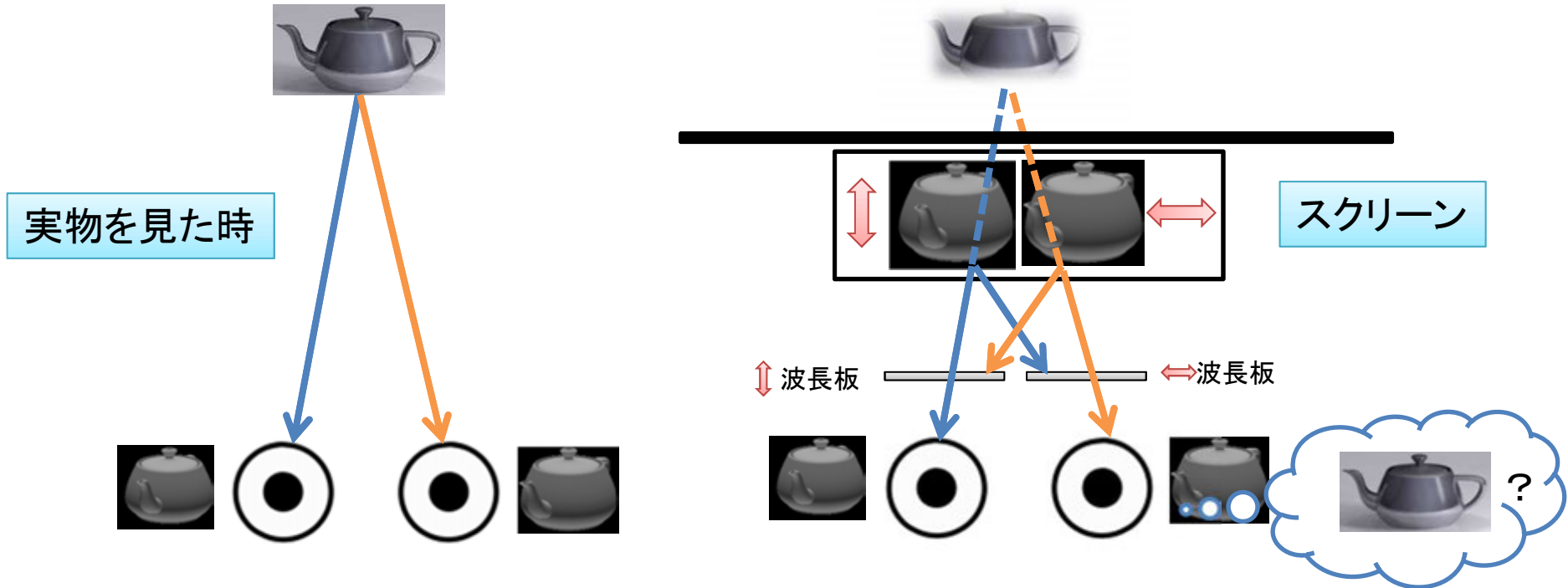
SHARP HPより



テレビの細かい点(ピクセル)ごとに、「液晶」が挟まっている。「液晶」は「電気で回せる半波長板」として働く。実験4からわかるように、色ごとに、0度～45度を切り替えるとテレビのように画像が移せる光の強さを調節できる

# 身近な偏光の応用3: 3D映画

そもそも何で3Dに見えるの？



3D映画では、2つの偏光を  
2つの映写機で移して、  
奥行きがあるように見せている

# 光と通信



# 光を使った通信

---

- 偏光を使うと光を使った通信ができる。
- 縦偏光を0、横偏光を1だと思って0か1かを伝えてみよう。

# 0と1を使った通信

---

- 自分のもっているトランプのカードを光をつかって伝えよう。
- 次のように0、1と対応させて伝えてみよう。

# トランプ対応表

♠(スペード)	00	♥(ハート)	10
♣(クラブ)	01	♦(ダイヤ)	11

+

エース	0001	8	1000
2	0010	9	1001
3	0011	10	1010
4	0100	ジャック	1011
5	0101	クイーン	1100
6	0110	キング	1101
7	0111		

# トランプ対応表

♠(スペード)	00	♥(ハート)	10
♣(クラブ)	01	♦(ダイヤ)	11

+

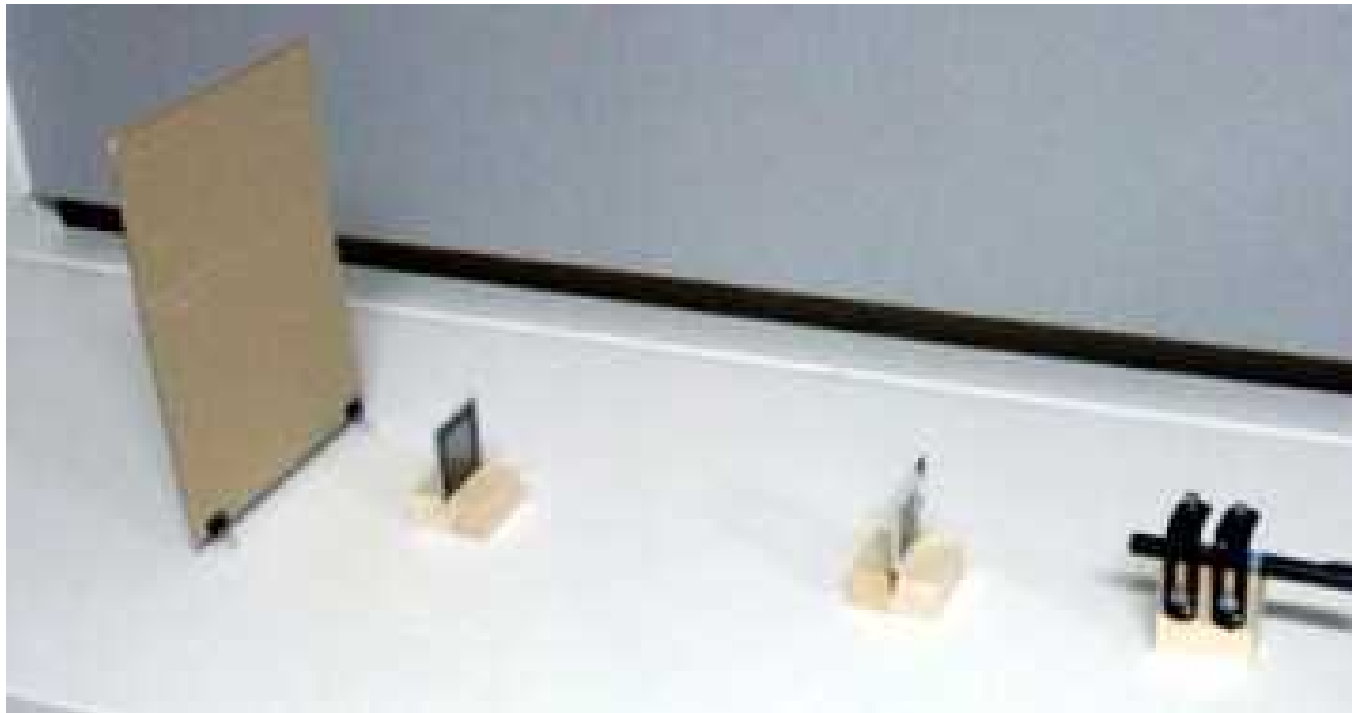
エース	0001	8	1000
2	0010	9	1001
3	0011	10	1010
4	0100	ジャック	1011
5	0101	クイーン	1100
6	0110	キング	1101
7	0111		

例: ♠のキング = 00 1101

# 通信実験

---

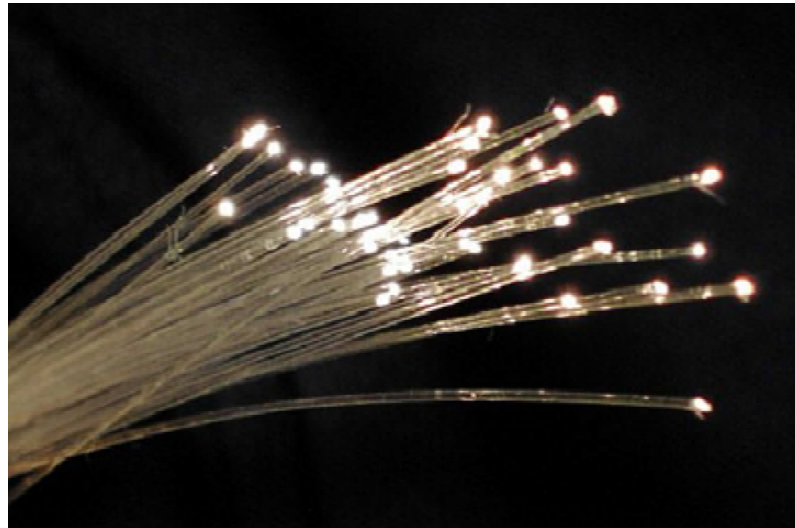
- プリントのやり方を見て、トランプのカードが何かを送ってみよう。



# 実際の通信

---

- 実際の通信では非常に速い繰り返し速度で今のようなことを行う。
- 光は光ファイバーを通して送られ、太平洋や大西洋を横断するような長距離通信にも使われている。

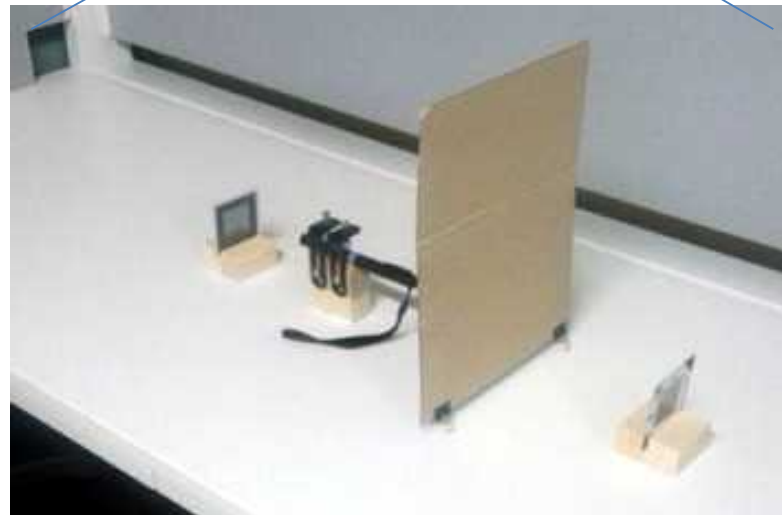


# まとめ

---

- 光の性質
  - 光は波である。
  - 光には向き(偏光)がある。
  - 偏光板と波長板で制御でき、身の回りでも使われている。
- 光と通信
  - 偏光を使って通信できる。
  - 光は実際の通信にも使われている。

# 盜聽1





# 盜聽2

