

7. 光

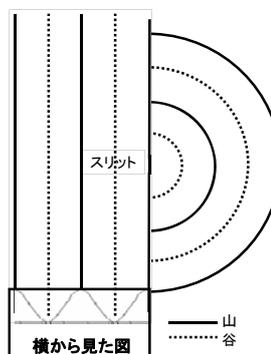
光波の伝播を支配するホイヘンスの原理について学び、これが光波の干渉や回折を統一的に説明する原理であることを理解する。波長と位相のそろったレーザー光の性質を用いて干渉と回折の実証実験を行う。

舛本泰章

(数理物質科学研究科)

2012年2月6日(月) 3学期2時限目

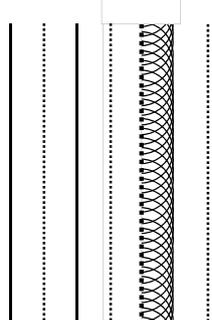
ホイヘンス(Huygens)の原理



平面波をスリット(壁の隙間)に当てると、その波はスリットの位置を中心に同心円状に広がっていきます。



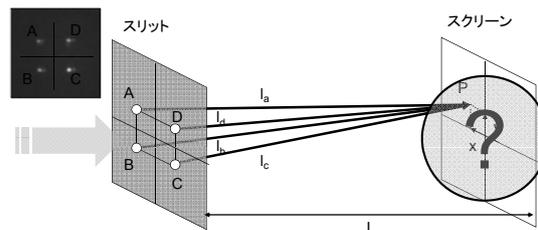
平面波の伝播はどう理解できる？



平面波は自由な空間をそのまま伝播します。
これは、仮想的に一列にスリットを無数に配置して、各スリットで生じた球面波が重なり合っ、再び平面波を生じると考えることができます。このような仮想上の球面波を、素元波と呼びます。(ホイヘンスの原理)
波が壁にぶつかるときは、壁面上の各位置で、波の到着と同時に素元波を出すものと考えます。



空間的に様々に配置されたスリット 正方形の干渉縞



正方形に配置されたスリットに光を当てると、どのような干渉縞ができるのでしょうか？



Q.正方形に並べたスリットに光を当てると、どのような干渉縞ができるのでしょうか？

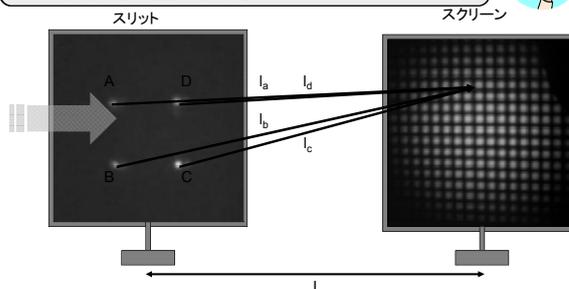
1. 縦じま
2. ひし形
3. 正方形

※1、2、3のうち正解は1つです。正解だと思うものに手をあげてください。

実際に正方形に配置されたスリットに光を当ててみましょう!

空間的に様々に配置されたスリット 正方形の干渉縞

このように、スクリーンには、格子がたくさん並んだ干渉縞が見えます。



光の強度の式(正方形の場合)

一般的に、位置xにおける光の強度I(x)は、以下の式によって求められます。(A,B,C,Dで生じた素元波が重なり合う e_0)

$$I(x) = |E(x)|^2 \text{ および } E(x) = \frac{L}{e^{i\frac{2\pi d_a}{\lambda}} + e^{i\frac{2\pi d_b}{\lambda}} + e^{i\frac{2\pi d_c}{\lambda}} + e^{i\frac{2\pi d_d}{\lambda}}}$$

Aの光強度 Bの光強度 Cの光強度 Dの光強度

$$I(x) = \frac{e^{i\frac{2\pi d_a}{\lambda}} + e^{i\frac{2\pi d_b}{\lambda}} + e^{i\frac{2\pi d_c}{\lambda}} + e^{i\frac{2\pi d_d}{\lambda}}}{L}$$

コンピューターで干渉縞の様子をシミュレーションしてみましょう。

空間的に様々に配置されたスリット 正方形の干渉縞

シミュレーション結果

スリット

実験結果

光の強度の式を計算プログラムに書き込み、干渉縞の様子をシミュレーションしてみました。実験結果とよく一致していることが分かります。

レーザー光を通す点と点の間隔を広げると、スクリーンに映る干渉縞の間隔はどのようになりますか？

スリット

0.5mm

スリット

1.0mm

スリット

1.5mm

スクリーン

7.5mm

スクリーン

3.5mm

スクリーン

2.5mm

スリットの間隔を広げると、スクリーンに映る干渉縞の間隔はどのようになりますか？

スリットの間隔を広げると、スクリーンに映る干渉縞の間隔は狭くなるのが分かります。

スリット

0.5mm

スリット

1.0mm

スリット

1.5mm

スクリーン

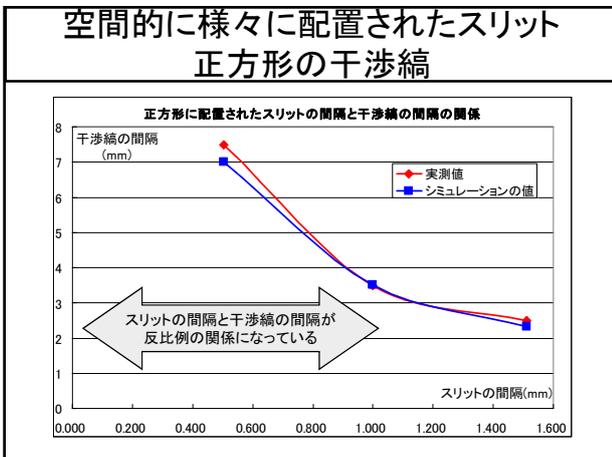
7.5mm

スクリーン

3.5mm

スクリーン

2.5mm



レーザー光を通す点を2点だけにすると、スクリーンに映る干渉縞はどのようになりますか？

0.5mm

A
B

1.0mm

B
C

1.5mm

B
D

スクリーン

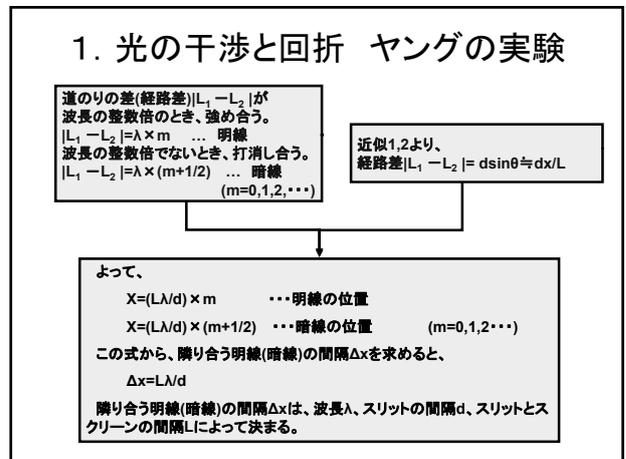
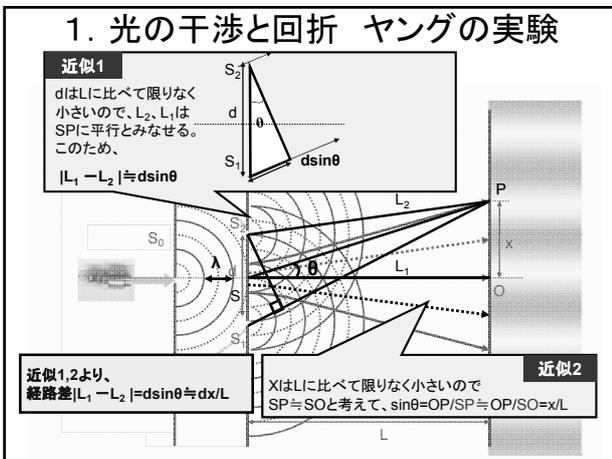
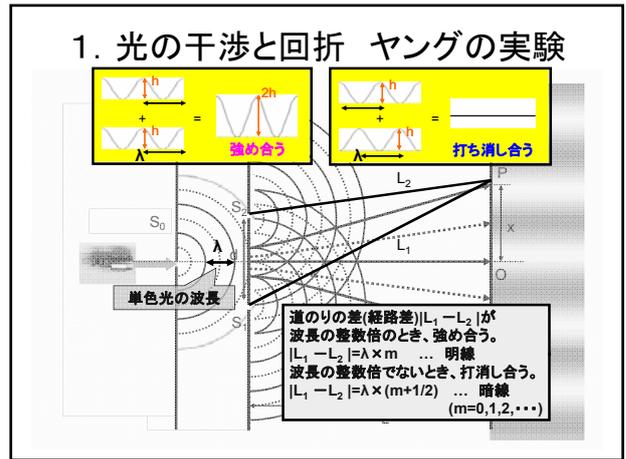
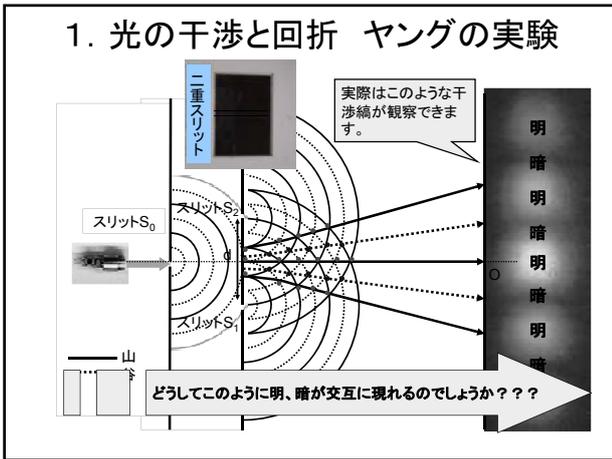
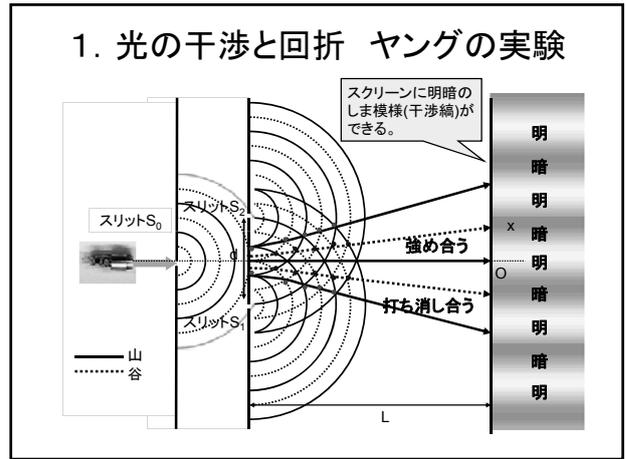
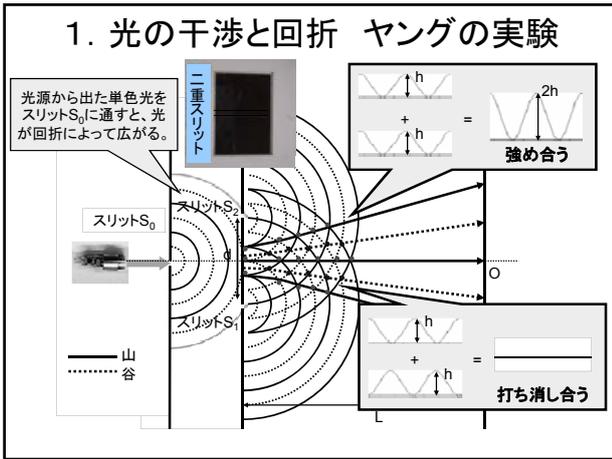
7.5mm

スクリーン

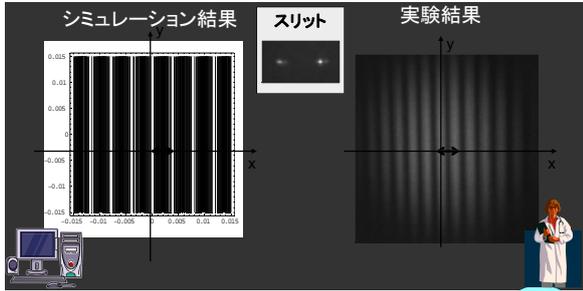
3.5mm

スクリーン

2.5mm



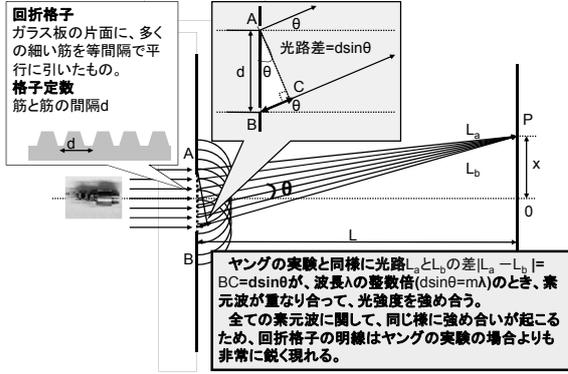
1. 光の干渉と回折 ヤングの実験



光の強度の式を計算プログラムに書き込み、二重スリットによる干渉縞の様子をシミュレーションしてみました。実験結果とよく一致していることが分かります。



2. 光の干渉と回折 回折格子



理論

コンパクトディスク(CD)を用いた回折格子の実験

CDにレーザー光を当てると、スクリーンに回折光が映し出される。このとき、スクリーンとレーザーとの距離LとCDと回折光の距離xから回折角 θ が計算によって分かる。波長 λ は既知なので、 $d \sin \theta_1 = \lambda$ 、 $d \sin \theta_2 = 2\lambda$ によりdが求まる。

拡大図
 $d \sin \theta$
 θ
道のりの差が波長1つ分。
道のりの差が大きくなるほど、反射角 θ は大きくなる。

スクリーン

実践

コンパクトディスク(CD)を用いた回折格子の実験

目的
 $d \sin \theta = m\lambda$ の式で格子定数を求める。

手順①
CDからの距離xを計測して、 $d \sin \theta = m\lambda$ に代入する。

スクリーン

Xを計測して、格子定数を求める。			
	x(cm)	sinθ	d(μm)
m=1	50.15	0.321	1.66
m=2	20.50	0.638	1.67
m=3	6.05	0.942	1.69
平均			1.67

真横から撮影したところ、3つの反射光が確認できた。

実践

コンパクトディスク(CD)を用いた回折格子の実験

目的
 $d \sin \theta = m\lambda$ の式で格子定数を求める。

手順②
CDの表面を顕微鏡で拡大して、格子定数を計測し、その格子定数と手順①で求めた値を比較する。

41本
70μm
 $(171\text{mm}/41) \times (70\mu\text{m}/177.5\text{mm}) \approx 65\mu\text{m}$
大体等しい!

Xを計測して、格子定数を求める。			
	x(cm)	sinθ	d(μm)
m=1	50.15	0.321	1.66
m=2	20.50	0.638	1.67
m=3	6.05	0.942	1.69
平均			1.67