

■教育論文■

物理学実験 1 における光の回折・干渉実験の実践例と応用

星野 靖^{1, 2, 3}

Practical Examples and Applications for Diffraction and Interference of Lights in Experimental Physics 1

Yasushi Hoshino^{1, 2, 3}

¹ Department of Mathematics and Physics, Faculty of Science, Kanagawa University, Hiratsuka City, Kanagawa 259-1293, Japan

² Research Institute for Integral Science, Kanagawa University, Hiratsuka City, Kanagawa 259-1293, Japan

³ To whom correspondence should be addressed. E-mail: yhoshino@kanagawa-u.ac.jp

Abstract: I introduce some experimental topics regarding diffraction and interference of light penetrating a single and double slit. The physics of diffraction and interference can be explained by the superposition of waves in direct space with a slight phase difference, which is an important concept in the field of not only applied physics but also condensed matter physics and cosmology. In the Faculty of Science, Kanagawa University, subjects on wave physics are systematically taught to first-year to third-year students in the class of experimental physics. I show some examples of Fraunhofer diffraction of light by a single and double slit, covered in the Experimental Physics 1, and finally expand to Fresnel diffraction as an advanced subject.

Keywords: diffraction, interference, wave packet, fraunhofer diffraction, fresnel diffraction, coherence

序論

物理学の歴史の中で、光は波か粒子かという議論は、中世ヨーロッパを中心に活発に行われた。17世紀後半、C. Huygens は光の伝搬、反射・屈折現象などを波動的性質により幾何学的に説明し、「*Treatise in light*」を著した。一方、同時代に I. Newton は、著書「*Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica (PRINCIPIA)*」および「*A Treatise of the Reflexions, Refractions, Inflexions and Colours of Light (OPTIKS)*」の中で、光の持つ様々な物理的性質を粒子的側面から説明した。それから 100 年もの間、ヨーロッパを中心に光に関する様々な実験が行われたが、当時は粒子説が有力であったようである。しかし 19 世紀初頭の T. Young による二重スリットを用いた光の干渉実験により、光が波動的性質を持つことが確認され、A.-J. Fresnel や G. Kirchhoff らによる理論的な説明がなされると波動説が優勢となった。1865 年には、J. Maxwell により光が電磁波の一種であることが一般的に示され、「*A dynamical theory of the electromagnetic field*」と題された論文

の中で Maxwell 方程式として美しくまとめられた。ところが 19 世紀後半から 20 世紀初頭、光電効果や Compton 効果に代表される光の粒子性に起因する物理的現象が相次いで発見された。当時、量子論の勃興とともに、光の持つ本質に関して様々な検証実験がなされた。1905 年、A. Einstein が光量子仮説に基づく光電効果の説明により光の粒子性が確かめられ、ノーベル物理学賞を受賞したことは有名である。ところがその直後には M. Laue により、X 線が結晶により回折を起こすこと（波動性）が発見され、結晶構造解析への応用の端緒となった。

このように、当時数百年にわたり様々な実験が行われ、光が粒子性と波動性いずれの性質も兼ね備えた二面的存在であることが明らかとなり、現在では「量子」と考えるに至っている。更にそれまで粒子として考えられていた電子も波動的性質と粒子的性質を合わせ持つことが 1920 年代に発見され、この二面性はすべての物質にとって普遍的な性質であることがわかっている。そしてこれらの波動的・粒子的

性質は、今日様々な研究・開発分野において広く応用されていることは周知のことであろう。このような背景の中、光や物質の波動性や粒子性に関して理解を深めることは、実験物理分野のみならず物性理論、ひいては物理教育の観点からも非常に有意義と考える。

神奈川大学理学部の物理学学生実験においては、光の波動性に関連する様々な実験テーマが用意され、学生が実体験として系統的に学修できるよう工夫されている。まず1年次の基礎物理学実験法では、「Newton Ring」を用いた光の干渉実験を行い、光の波動性に関して理解を深めると同時に、計測と誤差について考えるテーマが扱われる。2年次の物理学実験1では、波長の異なる半導体レーザ（赤・緑・青）から発せられたコヒーレント単色光を用いた「Youngの回折・干渉実験」を行い、スクリーン上に現れた縞間隔と二重スリット間隔との関係を調べる。スリットとスクリーンとの幾何学的配置により干渉縞の現れ方は単純な関係で記述でき、実験結果と理論予測を比較することにより、光の波動的性質を深く理解できるテーマである。3年次の物理学実験2では、光の波動的性質として重要な「偏光と複屈折」と「X線回折による結晶構造解析」を行う2つの実践的な

テーマを設定している。ここで扱う平面波の回折・干渉の原理は非常に単純であり、スリットや原子による回折で少し位相（光路差）の異なる波同士の重ね合わせによりすべて説明できる。これら一連の実験は、物理を学ぶ学生には教育的かつ実学的テーマであると考えられる。

まず波の回折干渉に関して、基礎的な考え方について触れよう。上記のように波の干渉による強度分布は、次式に示すようにわずかに位相の異なる複数の波同士の重ね合わせにより生じる。

$$\Psi(x) = \sum_{n=1}^N \cos((k_1 + (n-1)\delta k)x) \propto \frac{\sin\left(\frac{N\delta k \cdot x}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\delta k \cdot x}{2}\right)} \quad (1)$$

$$\delta k \equiv \frac{\Delta k}{N-1} = \frac{k_2 - k_1}{N-1} \quad (2)$$

例として、 $[k_1, k_2] = [17, 19]$ の間で $N-1$ 分割した N 個の正弦波を重ね合わせた計算結果を図1に示す。例えば $N=2$ の場合、合成波は2つの正弦波の和、

$$\Psi = \cos(k_1 x) + \cos(k_2 x) = 2 \cos\left(\frac{k_1 - k_2}{2} x\right) \cos\left(\frac{k_1 + k_2}{2} x\right) \quad (3)$$

となり、いわゆる $2\pi/(k_1 - k_2)$ 間隔の「うなり」が観測される。さらに N 個の正弦波の重ね合わせによって、波の局在化が起こり $2\pi(N-1)/(k_1 - k_2)$ 間隔で波束が形成されることが分かる。これは数学で言えば、次式(4)で示すように散乱体形状 $g(x, y)$ （ここではスリットや結晶構造）を Fourier 変換したものであり、物理的に表現すればスリット $g(x, y)$ による波の回折・干渉現象そのものである。

$$\Psi(X, Y) = \iint_{-\infty}^{\infty} g(x, y) \exp[-ikr] dx dy \quad (4)$$

$$r = \sqrt{(X-x)^2 + (Y-y)^2 + L} \quad (5)$$

つまり、スリット通過後の経路長 r の差（位相差）が異なる複数の波の重ね合わせにより、距離 L に置かれたスクリーン上の点 (X, Y, L) で波の干渉像 $|\Psi(X, Y)|^2$ が現れることが直感的に理解できる。

本稿では、主に物理学実験1で行っている単・複スリットによる可視レーザ光の回折・干渉実験の実践例についてやや発展的内容も含めて述べるが、難しい回折積分などの概念は使わず、初等的な大学数学のみで理解できるよう配慮した。

Fraunhofer 回折の理論

まず、入射波を平面波として扱うことができ、スリットとスクリーンまでの距離が十分長い場合の回折・

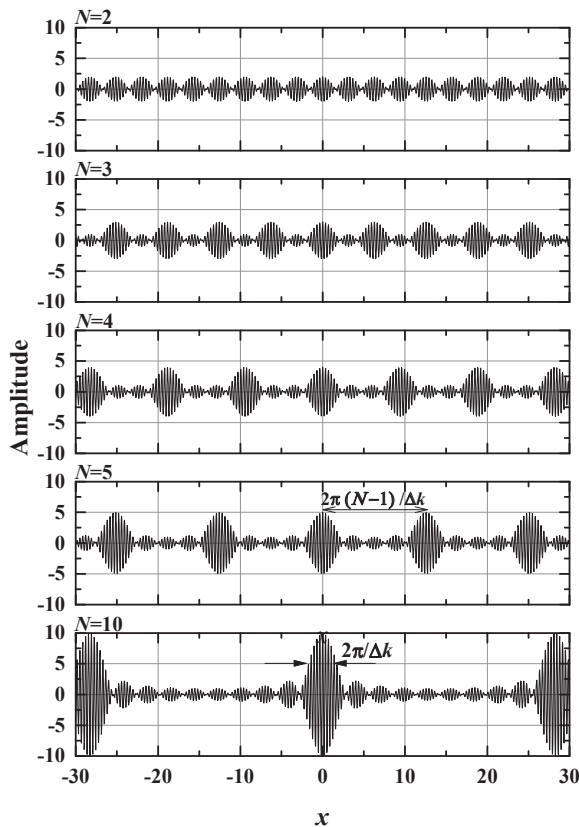


図1. 波数 $[k_1, k_2] = [17, 19]$ ($\Delta k = 2$)のバンド幅を持つ N 個の波の重ね合わせと波束の形成。

干渉理論を扱う。このような条件設定を Fraunhofer 近似という。

単スリットによる回折の理論

図 2 にスリット開口幅 a の単スリットを用いた光の回折実験における各光学機器の幾何学的配置図を示す。ここで、スリットとスクリーンまでの距離を L とし、スリット中心を原点とした $x-z$ 座標系を考える。単純化のため、 y 平面上での議論とすると、スクリーン上の観測座標点 Q は、 $Q(X, 0, L)$ と表される。まず入射平面波は、Huygens の原理より、スリット開口部の各微小領域から球面波を発生すると考える。そこで、スリット開口幅 a を N 等分し、微小区間 $\Delta x (= a/N)$ に分割する。スリット上の任意の点 $P(x_n, 0, 0)$ と、スクリーン上の点 $Q(X, 0, L)$ での距離 r_n は、次のように書ける。

$$r_n = \sqrt{L^2 + (X - x_n)^2} \quad (6)$$

これを Taylor 展開し、 x_n の 2 次の項を微小量として無視した Fraunhofer 近似を適用すると、

$$r_n \approx \left(L + \frac{X^2}{2L} \right) - \frac{Xx_n}{L} \quad (7)$$

と表される。したがって、点 r において点 r_n から発せられる素源波の振幅 $\Psi_n(r)$ は波数 k とすると、一般的に球面波

$$\Psi_n(r) = \frac{\exp[-ikr_n]}{r} \quad (8)$$

と書ける。十分遠方では、平面波として近似できるので、単スリットを透過した波のスクリーン上における振幅は、

$$\begin{aligned} \Psi(X) &\approx \lim_{N \rightarrow \infty} \sum_n \exp \left[-ik \left(\left(L + \frac{X^2}{2L} - \frac{X}{L} \cdot n \frac{a}{N} \right) \right) \right] \\ &= \exp \left[-ik \left(L + \frac{X^2}{2L} \right) \right] \cdot \int_{-\frac{a}{2}}^{\frac{a}{2}} \exp \left[\frac{ikX}{L} x \right] dx \\ &= \exp \left[-ik \left(L + \frac{X^2}{2L} \right) \right] \cdot a \frac{\sin \left(\frac{kXa}{2L} \right)}{\frac{kXa}{2L}} \quad (9) \end{aligned}$$

となる。したがって、スクリーン上の点 $Q(X, 0, L)$ における回折強度は、

$$|\Psi(X)|^2 \propto a^2 \left[\frac{\sin \left(\frac{kXa}{2L} \right)}{\frac{kXa}{2L}} \right]^2 \quad (10)$$

と書ける。図 3 に、強度分布を示す。これが単スリットによる回折干渉像であり、sinc 関数とも呼ばれる。

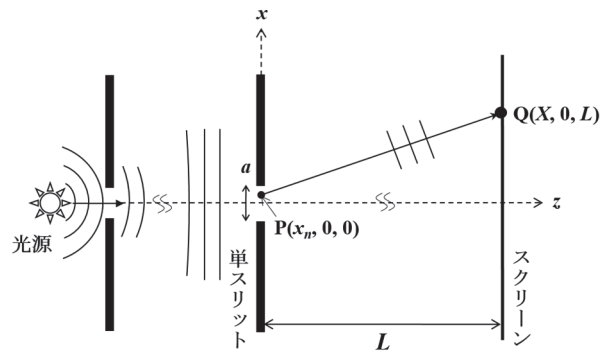


図 2. 開口幅 a の単スリットでの光の回折実験における各光学機器の幾何学的配置図。

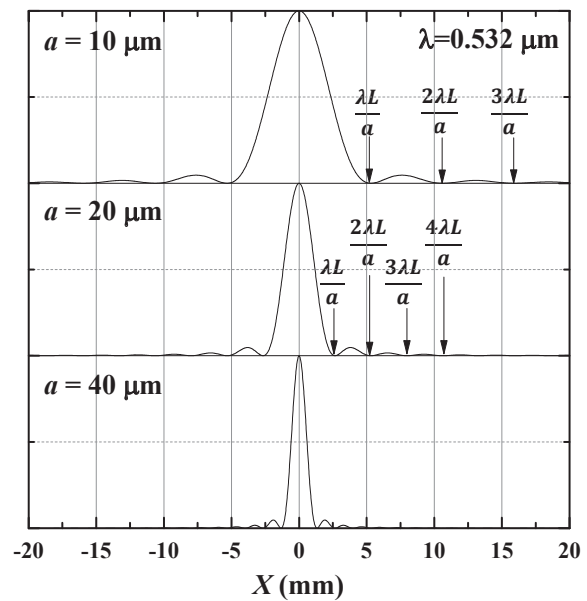


図 3. 単スリットでの回折・干渉実験における回折強度分布の計算値。ここで、 $L = 1$ m, $\lambda = 0.532$ μm とし、スリット開口幅を (a) 10 μm , (b) 20 μm , (c) 40 μm とした。

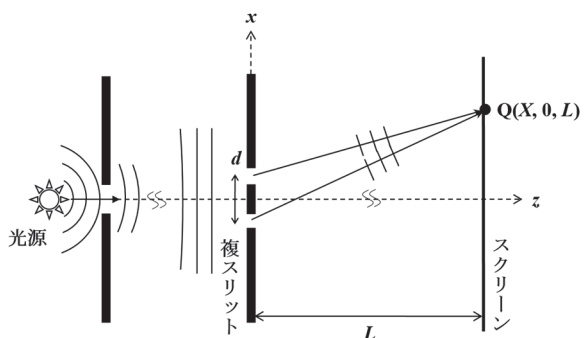


図 4. スリット間隔 d , 開口幅 a の複スリットでの光の回折実験における各光学機器の幾何学的配置図。

複スリットによる回折の理論

次に、いわゆる Young の実験に代表される複スリットによる回折を取り扱う。図 4 に開口幅 a 、スリット間隔 d の複スリットの幾何学的配置を示す。複ス

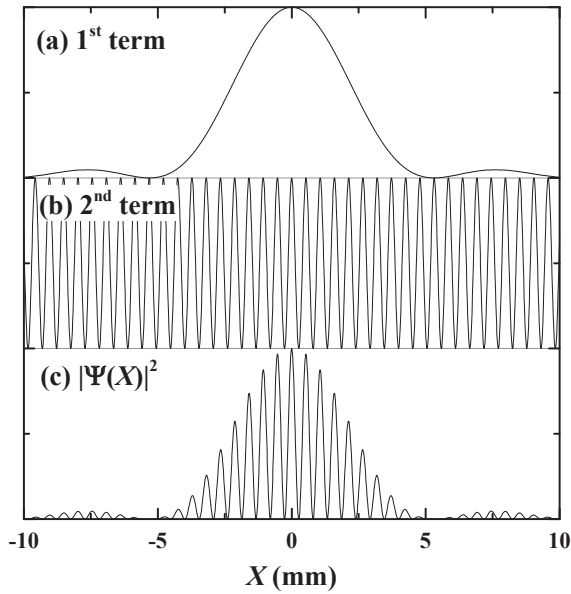


図5. 複スリットでの回折・干渉実験における回折強度分布の計算値. 式(12)における第1項(a), 第2項(b)とそれらの積(回折強度)(c). ここで, $L = 1 \text{ m}$, $a = 10 \text{ }\mu\text{m}$, $d = 100 \text{ }\mu\text{m}$, $\lambda = 0.532 \text{ }\mu\text{m}$ とした.

リット通過後の波の振幅と回折強度は、2つの単スリットからの回折波の合成として、以下の式により見積もられる。

$$\Psi(X) \propto \int_{-\frac{d}{2}+\frac{a}{2}}^{\frac{d}{2}+\frac{a}{2}} \exp\left[\frac{ikX}{L}x\right] dx + \int_{-\frac{d}{2}-\frac{a}{2}}^{\frac{d}{2}-\frac{a}{2}} \exp\left[\frac{ikX}{L}x\right] dx$$

$$= 4a \frac{\sin\left(\frac{kXa}{2L}\right)}{\frac{kXa}{2L}} \cdot \cos\left(\frac{kXd}{2L}\right) \quad (11)$$

$$|\Psi(X)|^2 \propto \left[\frac{\sin\left(\frac{kXa}{2L}\right)}{\frac{kXa}{2L}} \right]^2 \cdot \cos^2\left(\frac{kXd}{2L}\right) \quad (12)$$

回折強度を表す式(12)における第1項と第2項、それらの積を図5示す。複スリットでは、第1項の単スリットによる回折強度に対し、2つのスリットによる干渉結果が掛け算された形になることが分かる。したがって、明線は第2項の位相項より、

$$\frac{kXd}{2L} = n\pi \quad (13)$$

の条件が成立する場所点 Q に現れる。これが有名な Bragg の回折条件である。

多重スリットによる回折の理論

最後に多重スリットによる回折強度分布について触れたい。複スリットの理論を N 個の開口に拡張すると、最終的に振幅と回折強度分布は、

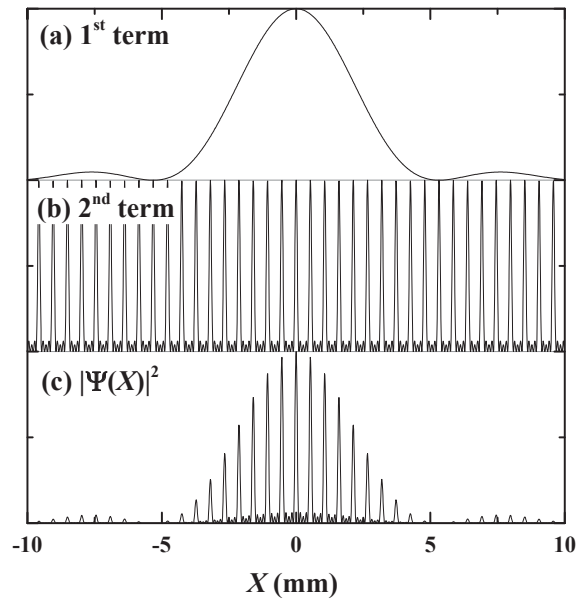


図6. 多重スリットでの回折・干渉実験における強度分布の計算値. 式(15)における第1項(a), 第2項(b)とそれらの積(回折強度)(c). ここで, $L = 1 \text{ m}$, $a = 10 \text{ }\mu\text{m}$, $d = 100 \text{ }\mu\text{m}$, $\lambda = 0.532 \text{ }\mu\text{m}$ とした.

$$\Psi(X) \propto \sum_{j=-\frac{N-1}{2}}^{\frac{N-1}{2}} \left[\int_{\frac{d}{2}+\frac{a}{2}}^{\frac{d}{2}+\frac{a}{2}} \exp\left[\frac{ikX}{L}x\right] dx \right] \quad (14)$$

$$|\Psi(X)|^2 \propto \left[\frac{\sin\left(\frac{kXa}{2L}\right)}{\frac{kXa}{2L}} \right]^2 \cdot \left[\frac{\sin\left(N\frac{kXd}{2L}\right)}{\sin\left(\frac{kXd}{2L}\right)} \right]^2 \quad (15)$$

と書けることが分かる。例えば $N = 5$ の場合で強度分布をグラフにすると、図6のようになる。 N を十分に大きく取った場合が、いわゆる回折格子による回折パターンであるが、複スリットの場合 ($N = 2$) に比べ N の増加による波束の空間的局在化で回折スポットがシャープになっていることが視覚的に理解できる。式(15)における第2項は Laue 関数と呼ばれ、X線や電子線回折による結晶構造解析においてよく出てくるものであり、結晶の周期構造(スリット間隔)を反映した重要な項である。

物理学実験1での光の回折干渉実験例

複スリットによる回折干渉実験 (Young の実験)

物理学実験で用いる各種スリットは、マイクロスリットカッターを用い、意図的に感光させたガラス製写真乾板上に自作した。図7に実際に開口幅 $a = 20 \text{ }\mu\text{m}$ スリット間隔 $d = 100 \text{ }\mu\text{m}$ で作製したスリットを光学顕微鏡で観察した一例を示す。なお、ガラス乾板上に作製したスリットは、湿気に弱いため保管には注意が必要である。

図 8 に赤 ($\lambda = 0.635 \mu\text{m}$)、緑 ($\lambda = 0.532 \mu\text{m}$)、青 ($\lambda = 0.450 \mu\text{m}$) のレーザを用い、 $L = 1 \text{ m}$ の距離で観察した仕様の不明な 3 つの複スリットからの回折パターンを示す。以下の回折パターンはすべてスマートフォンのカメラで撮影したものである。図 5 に示す回折強度分布の例と比較すると、特徴がよく一致していることが確認できる。

続いて、隣接明線間隔 (明線 10 個の平均より算出) を求め、横軸に波長、縦軸に明線間隔をプロットしたものを図 9 に示す。これより、明線の間隔と波長は比例関係になっていることが分かる。ここで式 (12)

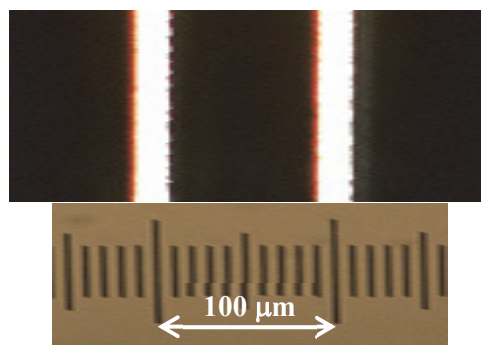


図 9. 実験より求めた隣接明線の間隔と波長の関係.

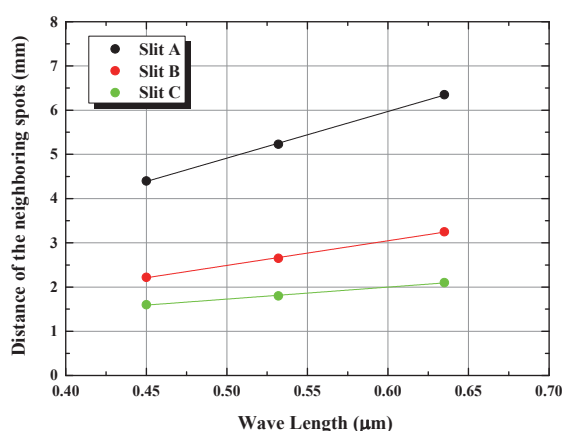


図 7. $a = 20 \mu\text{m}$, $d = 100 \mu\text{m}$ で自作したスリットの写真の一例.

の第二項より、

$$X = \frac{nL}{d} \cdot \lambda \quad (16)$$

の関係が成り立つとき、2 つのスリットを通過した波の位相が同じくなり、スクリーン上の点 $Q(X, 0, L)$ の位置に明線が現れる。これが Bragg の回折条件であるが、実験結果と式 (12) から導かれる理論値を比較検討することは教育的である。ここで理論上明線間隔と波長の関係は、次式 (17) のように表される。

$$X = \frac{L}{d} \cdot \lambda \quad (17)$$

最小二乗法により求めたグラフの傾きから、各スリットの間隔 d を見積ると、表 1 のようになった。

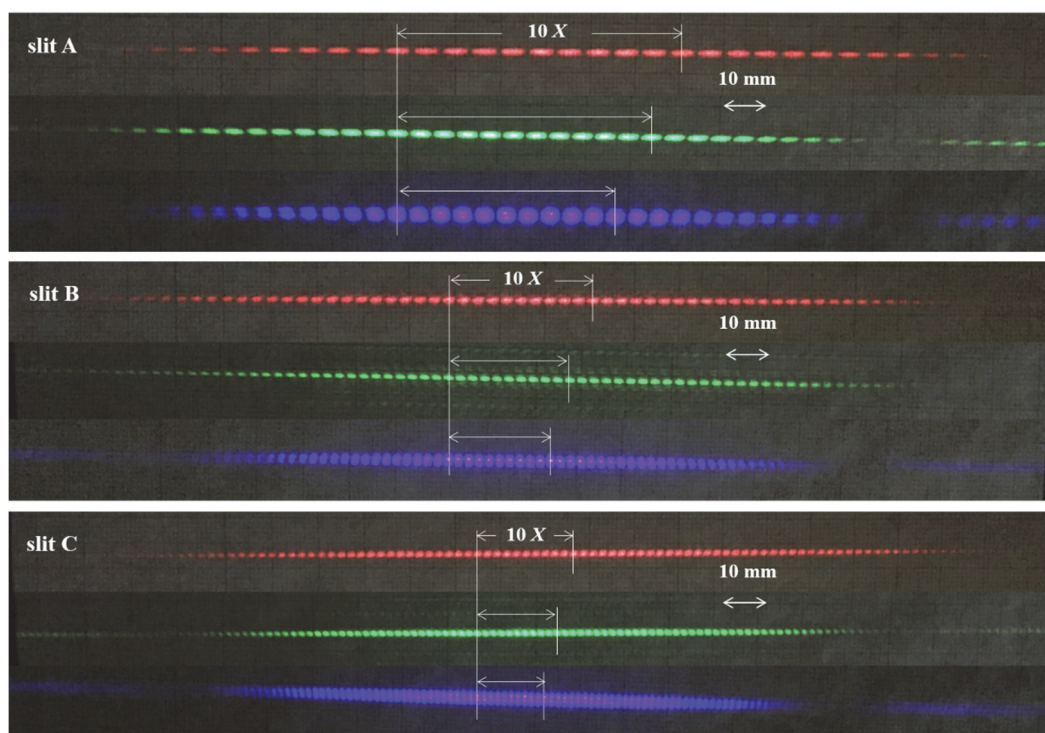


図 8. 赤 ($\lambda = 0.635 \mu\text{m}$)、緑 ($\lambda = 0.532 \mu\text{m}$)、青 ($\lambda = 0.450 \mu\text{m}$) のレーザを用い、 $L = 1 \text{ m}$ の距離で観察した複スリットからの回折パターン。なお回折パターンは、 10 mm 方眼紙に投影し写真撮影した。

表 1. 回折スポット間隔から見積もったスリット間隔

	傾き	R ² 係数	スリット間隔 (μm)
Slit A	10555	0.9996	95
Slit B	5578.4	0.9991	180
Slit C	2711.5	0.9976	370

単スリットを用いた回折・干渉実験

図 10 に、波長 0.532 μm のレーザー光を用い、スクリーンから距離 L = 1 m に設置した開口幅 20、40 μm の単スリットからの回折パターンを示す。図 3 に示した sinc 関数と比較すると特徴が良く一致していることが確認できる。

本節の最後に、単スリットによる回折の一例として、毛髪の太さの解析を行ってみる。細線による回折は、開口単スリットとはポジネガ反転の関係にあるが、式 (10) で示す開口単スリット同じ回折強度式が成り立つ。これを、Babinet の原理という。図 11 に太さが未知の毛髪からの回折パターンを示す。図 3 に示すように、暗線の間隔 \bar{X} は、

$$\bar{X} = \frac{\lambda L}{a} \tag{18}$$

であるから、実験より毛髪の太さ a = 70 μm と求まる。

Fresnel 回折への発展

これまで光源とスリットおよびスクリーンの距離がそれぞれ十分に大きく、入射波と回折波を平面波として扱える場合について回折・干渉効果を考えてきた。最後に波の回折干渉に関する発展的な話題として、Fresnel 回折について触れよう。ただ物理学実験 1 では Fresnel 回折の範囲までは扱わないが、波の回折干渉実験の発展的なテーマとしては教育的なので、最後に簡単に紹介したいと思う。

単スリットによる Fresnel 回折理論

これまでの Fraunhofer 回折では、光源からスリットとスリットからスクリーンの間隔がそれぞれ十分に大きく、入射波と回折波を平面波として扱った。いずれかの距離が十分に短い場合は、波を一般的な球面波（スリットでは円筒波）として扱う必要がある。図 12 に Fresnel 回折実験における各光学機器の幾何学的配置と座標系を示す。ほとんどの教科書では、平面波が入射する場合は記述されているが、本稿では入射波が球面波（円筒波）とし、一般的な形式で記述する。これまでも説明したように、図 12 のスクリーン上の座標 X に到達する回折波は、スリット上の各微小領域からの素源波の重ね合わせとして表される。これまでと同様に、回折波の出発点に依存した光路差が生じ、その結果スリット上で干渉が起こるはずである。スリット間隔を a、スリット間とスクリーン - スリット間の距離をそれぞれ L₁, L₂ とすると、スリット上の任意の座標 P(s, 0, L) からの回折波がスクリーン上の点 Q(X, 0, L) に達する場合の光路差 Δ は、Taylor 展開の 2 次まで取ると、

$$\begin{aligned} \Delta &\cong \sqrt{\left(\frac{L_1}{\cos \beta}\right)^2 + s^2} + \sqrt{\left(\frac{L_2}{\cos \beta}\right)^2 + s^2} \\ &= \frac{s^2 \cos \beta (L_1 + L_2)}{2L_1 L_2} + (h.o.) \end{aligned} \tag{19}$$

と書ける。ここで Fraunhofer 近似において無視した 2 次の項 (s²) が Fresnel 回折では意味を持つてくる。したがって、点 Q(X, 0, L) での振幅は、

$$\Psi(X) = \int_{s_1}^{s_2} \exp[-ik\Delta] ds \tag{20}$$

となる。ここで積分は、スリット内側領域に渡って行うので、今回は図 12 より積分範囲は、

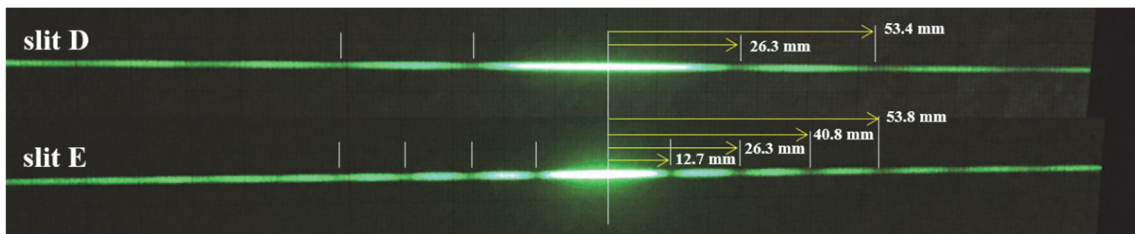


図 10. 緑色 (λ = 0.532 μm) レーザを用い、L = 1 m の距離で観察した、開口幅 a = 20 (Slit D)、40 μm (Slit E) の単スリットからの回折パターン。



図 11. 髪の毛からの回折像。

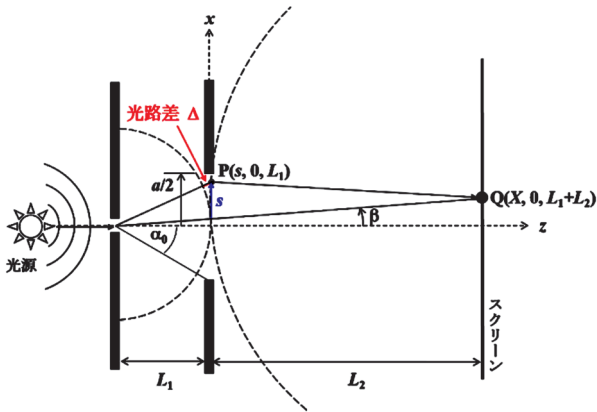


図 12. 開口幅 a の単スリットでの Fresnel 回折実験における幾何学的配置図.

$$\begin{aligned} s_1 &= (-\alpha_0 - \beta)L_1 \\ s_2 &= (\alpha_0 + \beta)L_1 \end{aligned} \quad (21)$$

とすればよい。ここで、 α_0 は第 1 スリットから見た第 2 スリットの広がり角、 β は第一スリットから点 Q を結ぶ線分と z 軸のなす角であり、それぞれ

$$\alpha_0 = \sin^{-1}\left(\frac{a}{2L_1}\right) \quad (22)$$

$$\beta = \tan^{-1}\left(\frac{X}{L_1 + L_2}\right) \quad (23)$$

となる。ここで a は L に比べ十分小さいとした。

$$\xi \equiv s \sqrt{\frac{2s \cos \beta (L_1 + L_2)}{L_1 L_2 \lambda}} \quad (24)$$

と置くと回折強度は、

$$\begin{aligned} |\Psi(X)|^2 \propto & \left\{ \int_{\xi_1}^{\xi_2} \cos\left(\frac{\pi}{2}\xi^2\right) d\xi \right\}^2 \\ & + \left\{ \int_{\xi_1}^{\xi_2} \sin\left(\frac{\pi}{2}\xi^2\right) d\xi \right\}^2 \end{aligned} \quad (25)$$

と書ける。結局、回折強度はこの積分の値で決まることが分かる。ここで、右辺に出てくる積分

$$C(x) = \int_0^x \cos\left(\frac{\pi}{2}\xi^2\right) d\xi \quad (26)$$

$$S(x) = \int_0^x \sin\left(\frac{\pi}{2}\xi^2\right) d\xi \quad (27)$$

を Fresnel 積分という。被積分関数は関数形からも推測できるが、 ξ の増加とともに激しく振動する。一方、Fresnel 積分値は共に $1/2$ に収束することが知られている。図 13 にこれらのグラフを示す。また $C(x)$ と $S(x)$ それぞれ x 軸と y 軸の値として描くといわゆる Cornu Spiral が得られ、回折強度がこの曲線上の 2 点を結ぶ距離として幾何学的に導かれるこ

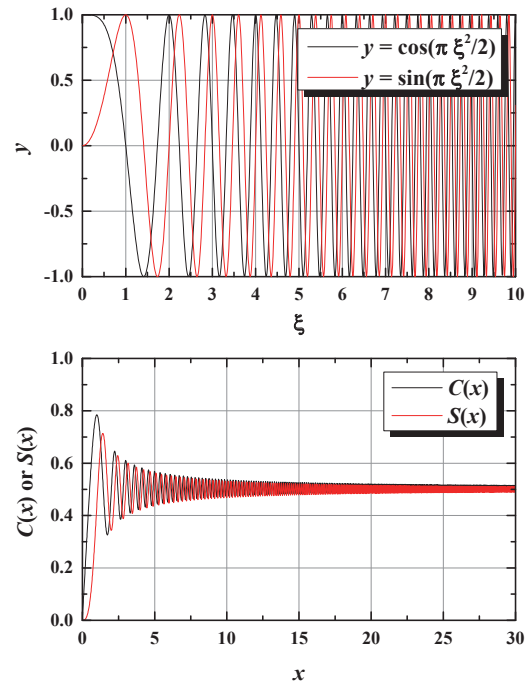


図 13. 式 (26) と (27) で示される Fresnel 積分の被積分関数と Fresnel 積分値.

とから、Fresnel 回折の解析によく用いられる。またこの Fresnel 積分は、数学の分野でも興味深い関数の一つであるが、ここでは物理学実験の話題に戻そう。

実験と比較するに当たり、具体的に $\lambda = 0.532 \mu\text{m}$ 、 $a = 1.31 \text{ mm}$ 、 $L_2 = 1 \text{ m}$ として、数値積分によりスクリーン上 $Q(X, 0, L_1 + L_2)$ における回折強度を計算してみよう。図 14 に、 L_1 をパラメータとして計算した Fresnel 回折強度の結果を示す。図 14 と図 3 を比べると Fresnel 回折条件では Fraunhofer 回折とはかなり異なった回折パターンが得られることが分かる。

単スリットによる Fresnel 回折条件における実験

最後に、Fresnel 条件で観察した実際の回折パターンを図 15 に示す。実験条件は、図 14 に示したシミュレーションのものと同一とした。図 14 と図 15 を比較すると、強度分布が良く再現できていることが分かる。Fraunhofer 回折条件とは異なり、図 14、図 15 の (c)(e) に見られるように、同位相になる中心部でも光学系の幾何学的配置によっては弱めあう条件となる場合が出てくることが確認できる。

高等学校や大学での物理学実験では、Fraunhofer 回折までを扱うことが多いが、発展的なテーマとして Fresnel 回折の理論と実験の一例を示した。Fresnel 回折の理論は、解析的に解くことが難しいため、実験においては敬遠しがちであるが、計算機

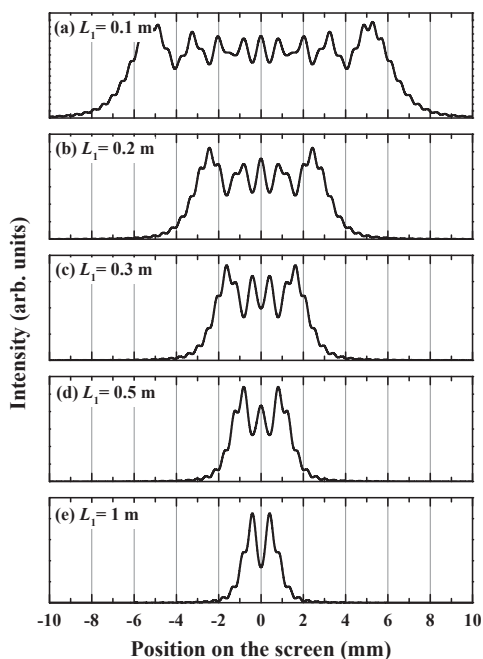


図 14. スリット幅 $a = 1.31 \text{ mm}$ の単スリットを用い、 $L_2 = 1 \text{ m}$ に固定し、 $L_1 = 0.1 \text{ (a)}$, 0.2 (b) , 0.3 (c) , 0.5 (d) , 1.0 m (e) の各条件で数値積分より計算した Fresnel 回折強度. 波長は $\lambda = 0.532 \mu\text{m}$ とした.

による数値計算も含め、回折・干渉に関する実験の集大成として扱うことは、教育的な価値も大いにある。また Fresnel 回折の例は、研究分野のみならず身近なところでも以外に多く、それらの応用や重要性についても触れることも必要であると同時に、波の干渉に関して興味を持ってもらうきっかけになる題材であると感じる。

おわりに

これまで物理学実験 1 で行っている光の回折・干渉実験に関するテーマの概要とその発展的内容について述べた。波の重ね合わせによる局在化や変調、共鳴などの干渉効果は、応用物理における実験にとどまらず量子物性物理から宇宙物理にわたる様々な物理分野で現れる現象である。我々に身近なところでは、スリットを結晶原子に置き換え、X線や電子線を入射することにより、結晶からの回折パターンも同

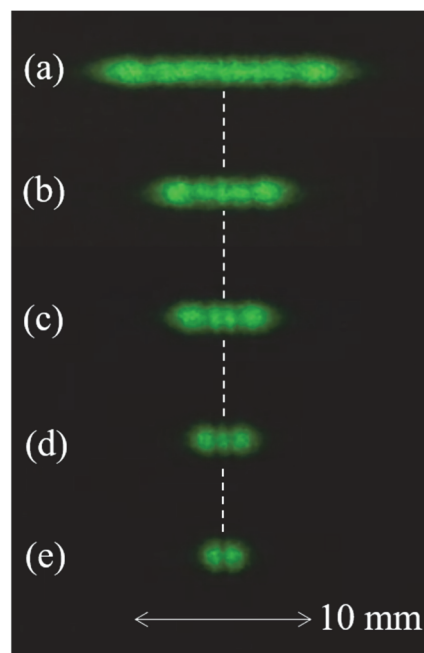


図 15. スリット幅 $a = 1.31 \text{ mm}$ の単スリットを用い $L_2 = 1 \text{ m}$ とし、 $L_1 = 0.1 \text{ (a)}$, 0.2 (b) , 0.3 (c) , 0.5 (d) , 1.0 m (e) の各条件で、波長 $\lambda = 0.532 \mu\text{m}$ のレーザーを用いて観察した Fresnel 回折パターン.

様に得ることができる。この回折パターンを解析することにより、結晶の対称性(スリット形状)や原子間隔(スリット間隔)に関する情報を得ることができ、X線(電子線)構造解析として広く利用されている。特にX線回折に関するテーマは物理学実験 2 で扱うが、波の回折・干渉に関する基礎理論は、本稿で述べたものを基礎に展開される。ここでは、大学 2 年生レベルで直感的に現象が理解できるよう、初等的な数学のみを用い、実空間での正弦波の重ね合わせとして、回折干渉効果を記述した。周期的に並ぶ散乱体の Fourier 変換が回折像(Fourier 空間像)であり、逆変換が実空間像になることが理解できると、さらに応用範囲が広がり得ると考える。

謝辞

光の回折・干渉実験装置の設計、作製においてサポートを頂いた斎藤保直先生に感謝いたします。