

自然科学 II（物理学）

第 7 回

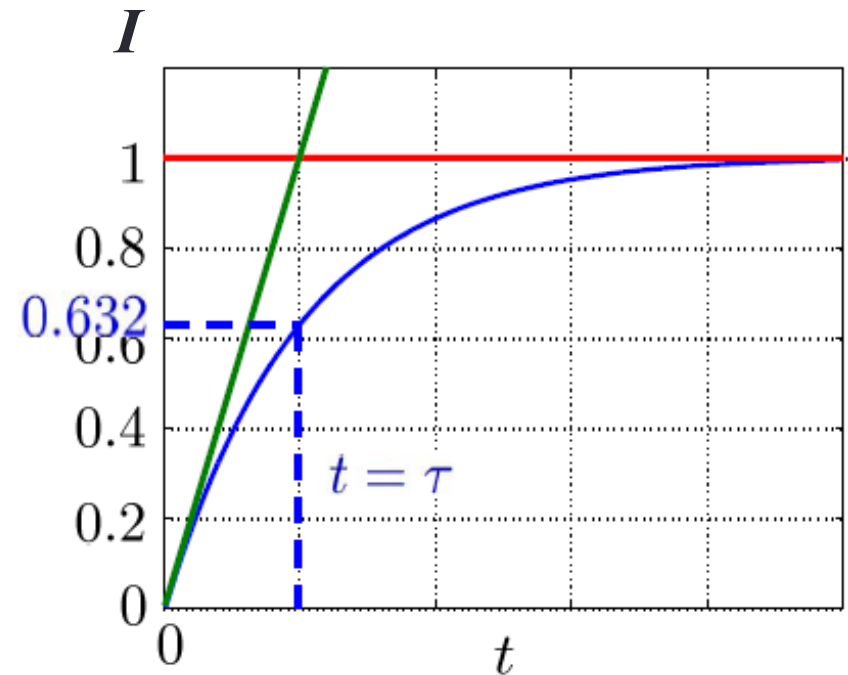
白倉 尚貴

過渡現象:RL回路

$E = RI + L(\Delta I/\Delta t)$
 の微分方程式を解くと
 (導出は割愛)

$$I = \frac{E}{R} \left[1 - \exp \left\{ - \left(\frac{R}{L} \right) t \right\} \right]$$

定常状態からコイルの過渡現象を
 引いた電流となる



過渡現象:RL回路

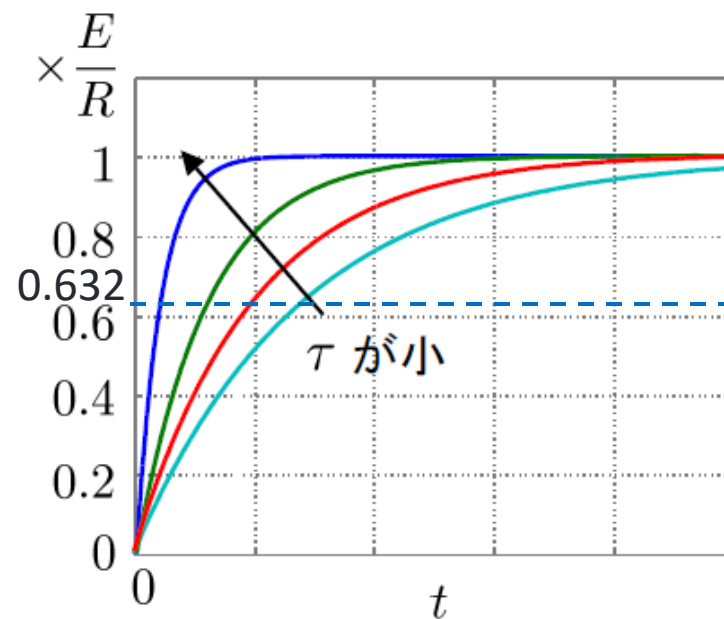
$$I = \frac{E}{R} \left[1 - \exp \left\{ - \left(\frac{R}{L} \right) t \right\} \right]$$

において **t の係数の逆数** を
時定数 τ とよぶ、上式のように RL 回
路における時定数 τ は

$$\tau = \frac{L}{R}$$

時定数 τ が 大きいほど 電流が定常
状態に近づくのが遅れ、小さいほど
早くなる

時刻 $t = \tau$ のとき、電流は定常状態の
約63% となる



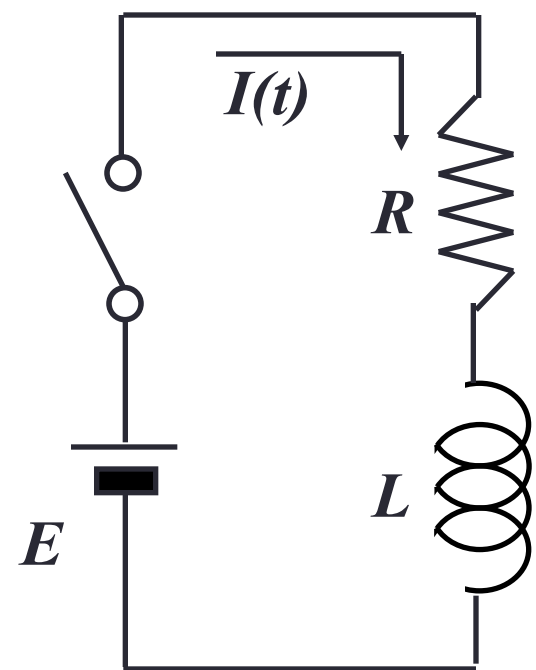
復習1

右図の様に回路が接続されている。
電池の起電力 E を30 [V]、抵抗 R を4 [Ω]
コイルの自己インダクタンス L を16 [H]と
する。

次の式、および値を求めよう。

(1) 時定数 τ の値

(2) スイッチを閉じてから時定数だけ
時間が経過したときの電流の値



復習1解答

(1)

$$\tau = \frac{L}{R} = \frac{16}{4} = 4$$

(2)

$$I = 7.5 \times 0.63 = 4.725[A]$$

過渡現象:RC回路

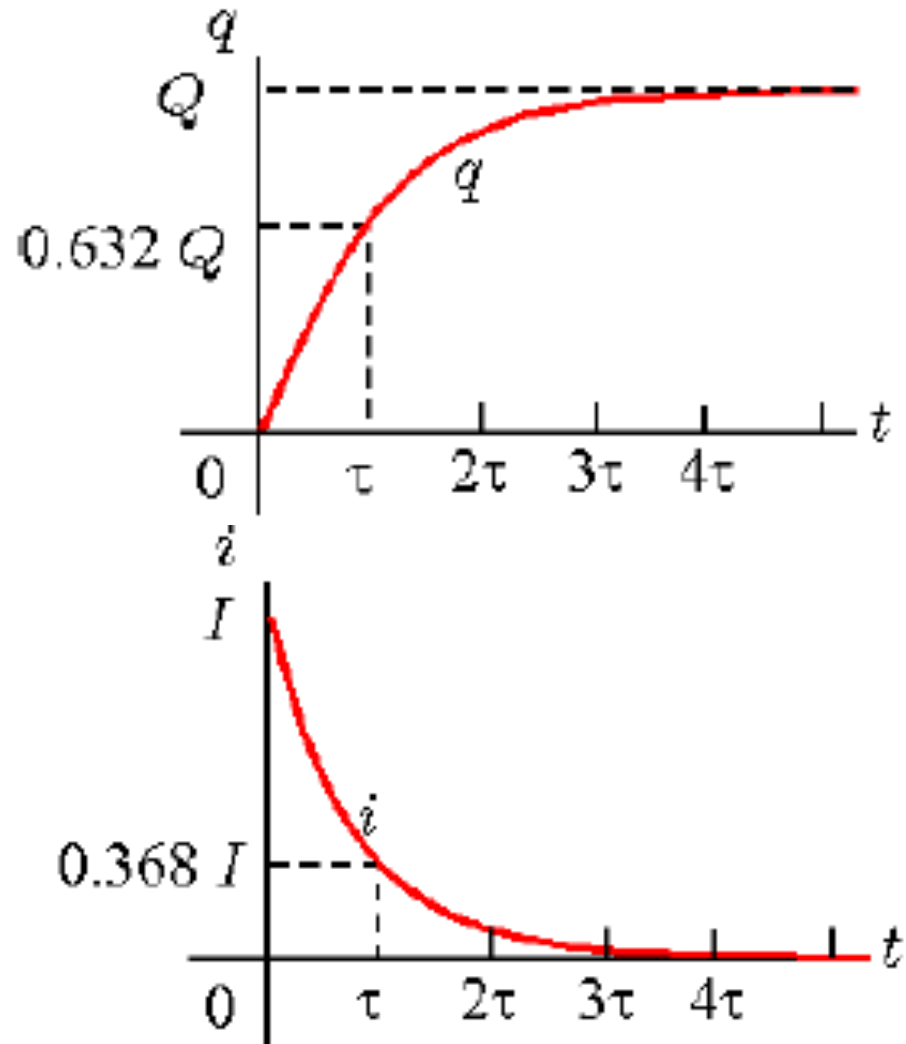
$$E = R \left(\frac{\Delta q}{\Delta t} \right) + \frac{q}{C}$$

の微分方程式を解くと
(導出は割愛)

$$q = CE \left[1 - \exp \left(-\frac{t}{CR} \right) \right]$$

電流は

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{E}{R} \exp \left(-\frac{t}{CR} \right)$$



過渡現象:RC回路

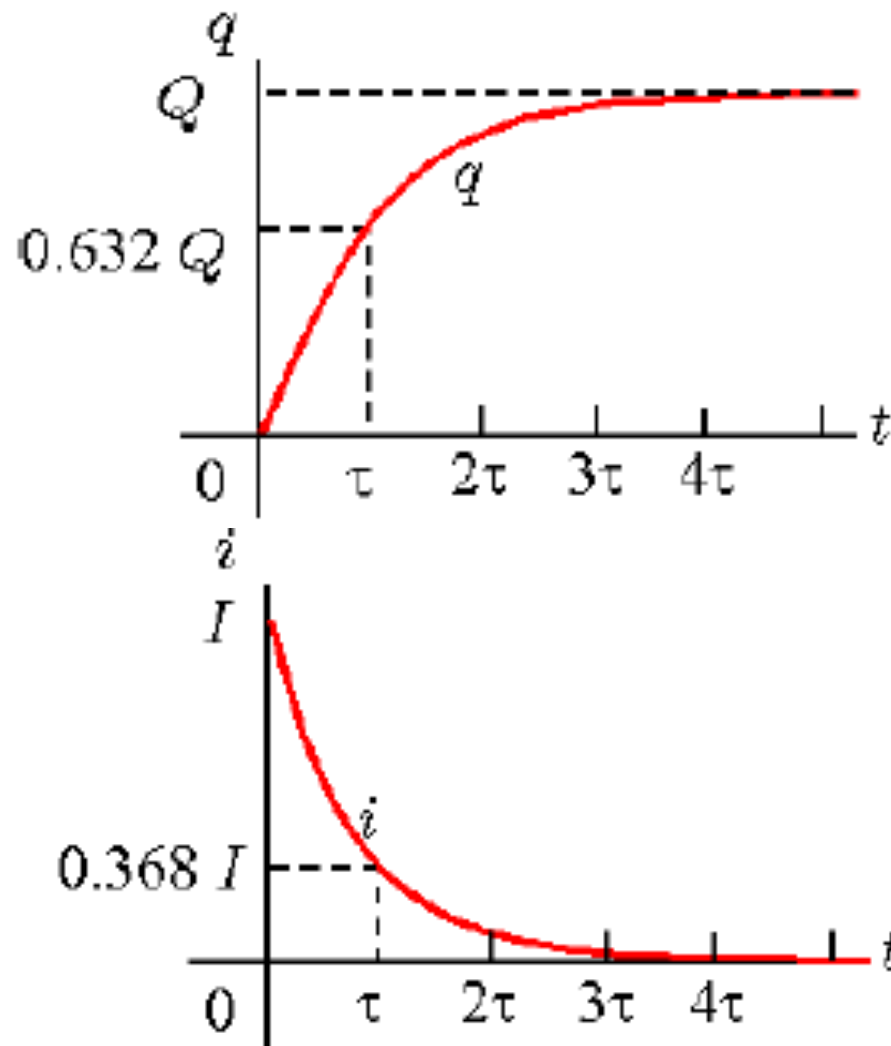
$$I = (E/R)\exp\{-t/(CR)\}$$

上式の電流を持つRC回路における時定数 τ は

$$\tau = CR$$

時定数 τ が大きいほど電流が定常状態に近づくのが **遅れ**、小さいほど **早く**なる

時刻 $t = \tau$ のとき、電流は定常状態の**約37%**となる



おさらい

コンデンサにながれる電流

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$$

RC回路における電圧

$$E = RI + \frac{q}{C}$$

$I = \Delta q / \Delta t$ を代入

$$E = R \left(\frac{\Delta q}{\Delta t} \right) + \frac{q}{C}$$

微分方程式を解くと

$$q = CE \left[1 - \exp \left(-\frac{t}{CR} \right) \right]$$

RC回路における電流

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{E}{R} \exp \left(-\frac{t}{CR} \right)$$

時定数 τ

$$\tau = CR$$

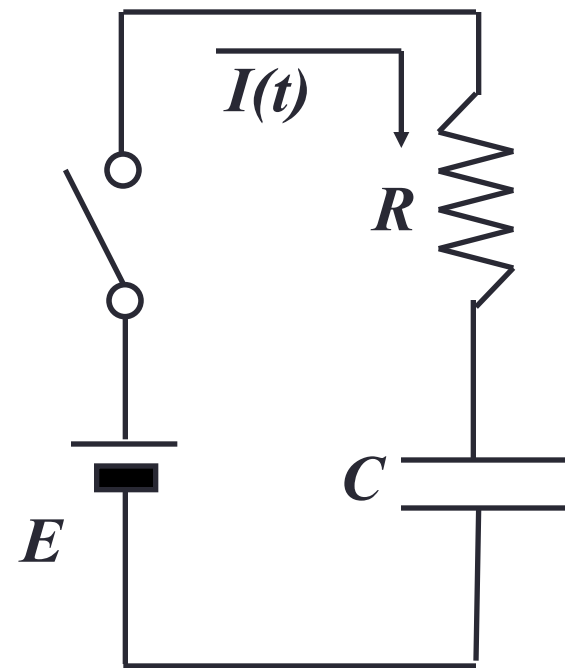
復習2

右図の様に回路が接続されている。
電池の起電力 E を10 [V]、抵抗 R を0.5 [Ω]
コンデンサの静電容量 C を2 [F]と
する。

次の式、および値を求めよう。

(1) 時定数 τ の値

(2) スイッチを閉じてから時定数 τ だけ
時間が経過したときの電流の値



復習2解答

(1)

$$\tau = CR = 2 \times 0.5 = 1$$

(2)

$$I = 20 \times 0.37 = 7.4 \text{ [A]}$$

今回の授業

顕微鏡・分光

- 顕微鏡の基礎・種類
- 電子顕微鏡
- 分光法とは

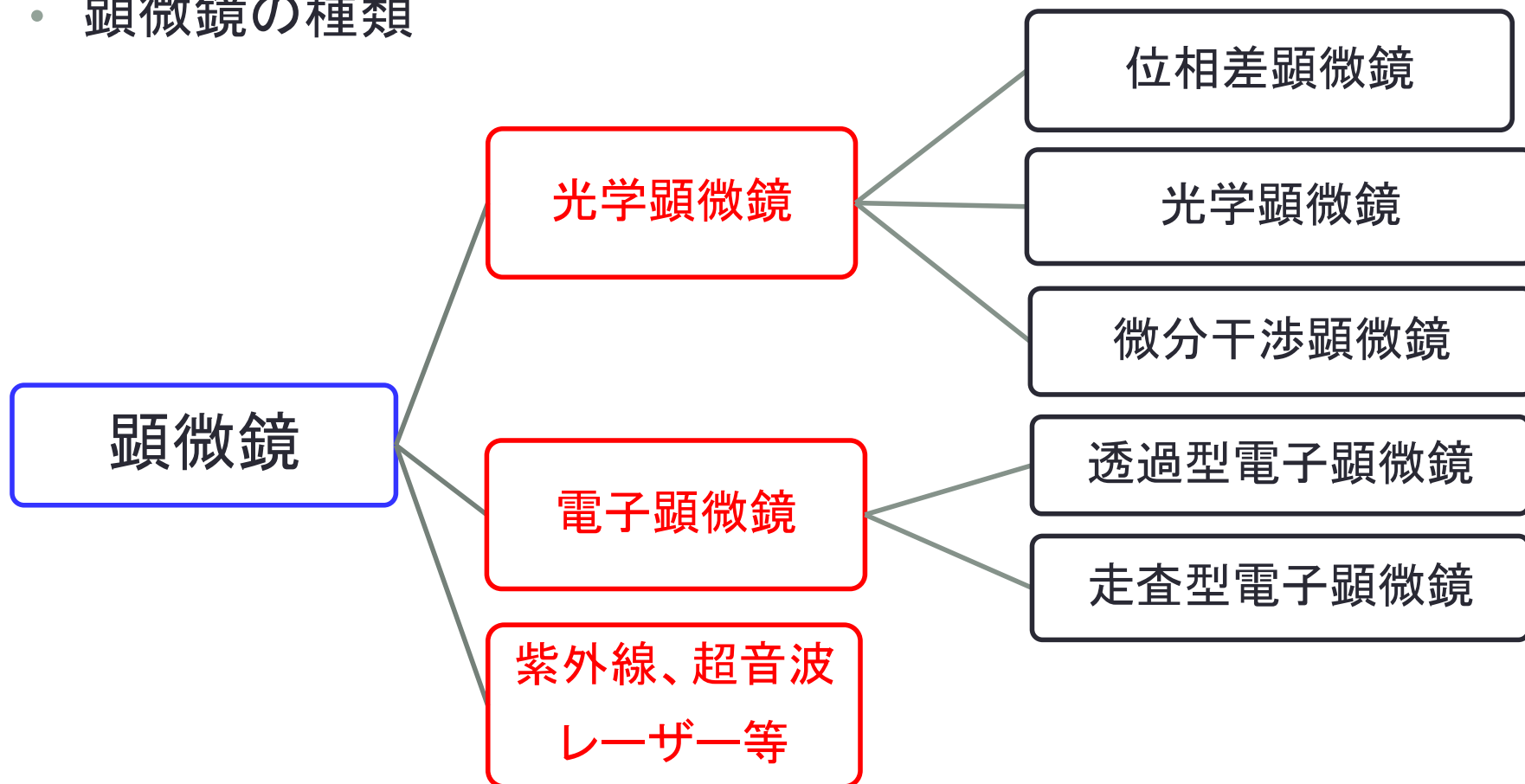
今回の授業

顕微鏡・分光

- 顕微鏡の基礎・種類（教科書 p.77-78）
- 電子顕微鏡
- 分光法とは

顕微鏡

- 顕微鏡の種類



顕微鏡

- 光学顕微鏡

光学顕微鏡は2つのレンズからなる

物体に相対するレンズ

⇒対物レンズ

眼に接するレンズ

⇒接眼レンズ

接眼レンズは両面凸レンズ

対物レンズは片面凸レンズで形成される

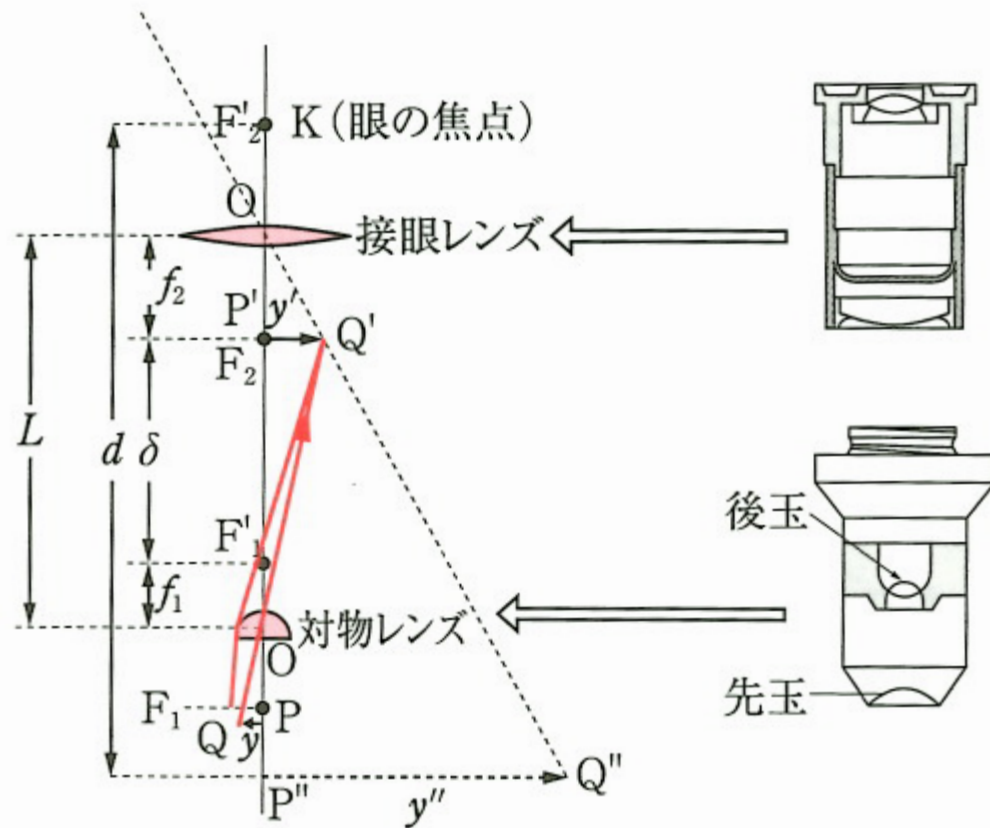
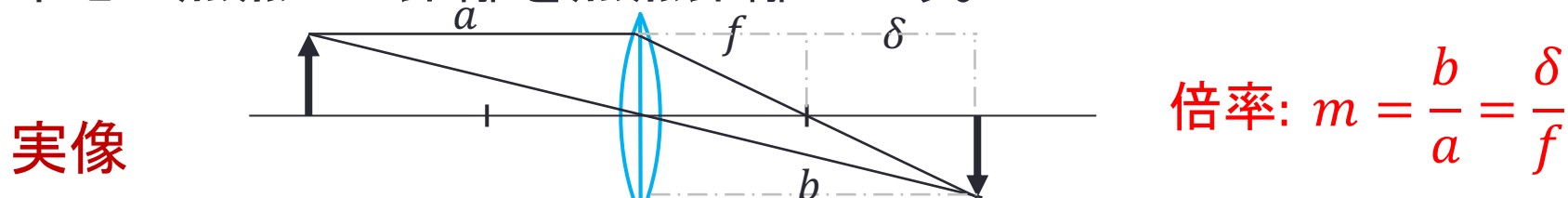


図 9-24 顕微鏡の原理

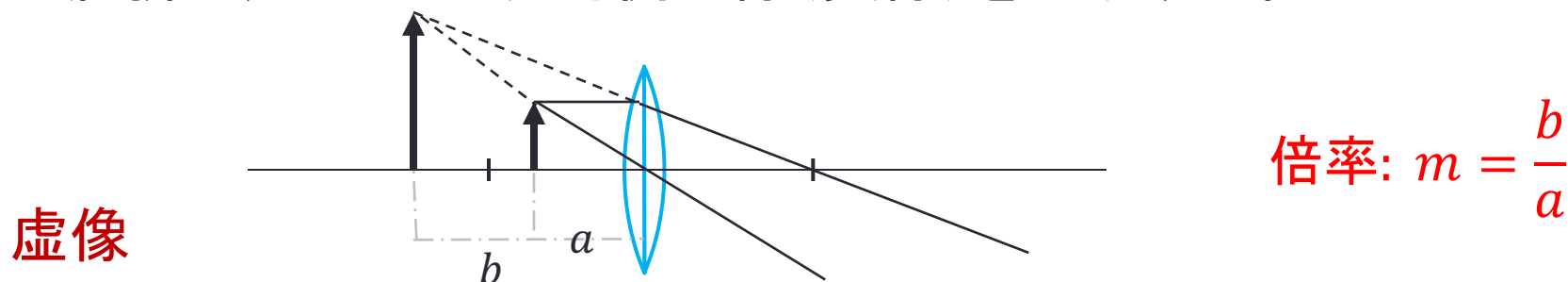
凸レンズ

焦点距離と倍率

レンズを通して屈折した光が集まる場所を焦点という。レンズの中心と焦点との距離を焦点距離という。



物体を焦点よりも外側に置くと、物体から出た光はレンズを通して屈折し、レンズの反対側に像(実像)を形成する。



物体を焦点よりも内側に置くと、レンズを通して実際よりも拡大された像(虚像)を見ることができる。

顕微鏡

物体PQ(=y)を対物レンズの第1焦点F₁のわずかに外に

拡大された実像P'Q'を接眼レンズでさらに拡大し、その虚像P''Q''(=y'')をみる

このときの倍率は虚像P''Q''と実物PQとの比であるから、

$$m = \frac{y'}{y} \times \frac{y''}{y'} = \frac{\delta}{f_1} \times \frac{d}{f_2}$$

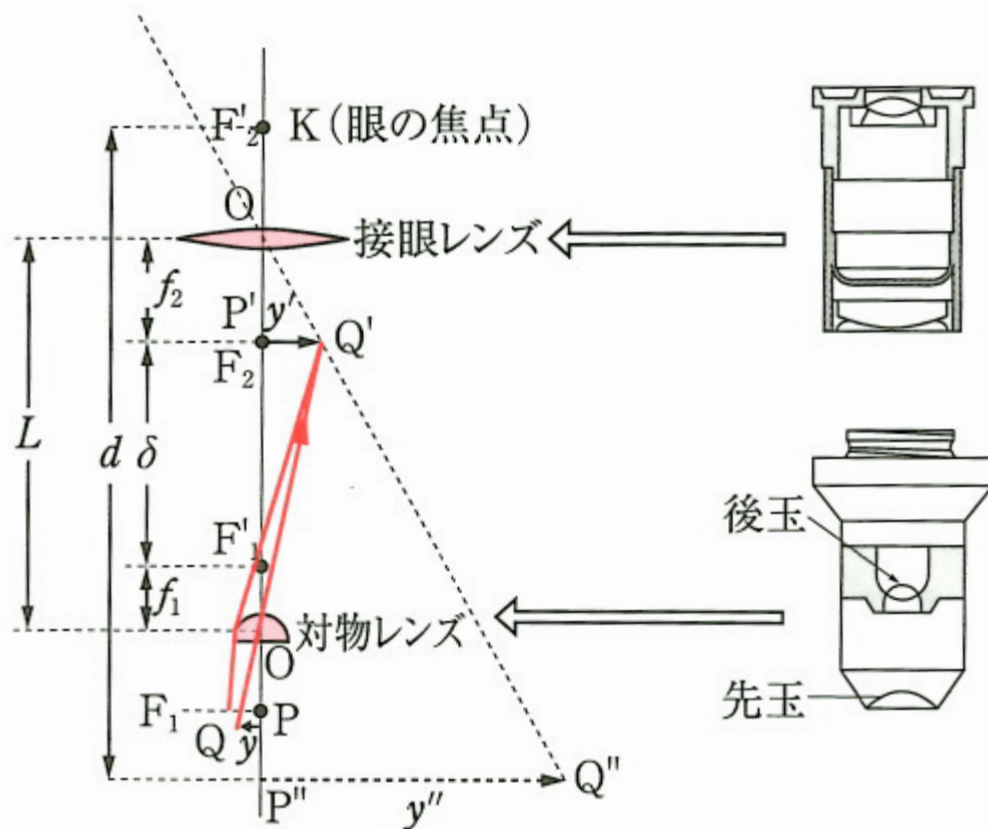


図 9-24 顕微鏡の原理

顕微鏡

δ は**光学的筒長**とよばれ、 $\delta=L-(f_1+f_2)$

d は明視野の距離で、人間が長時間ものを見続ける際に最も疲れにくい距離である

健康な眼をもった日本人の場合、約25cm

接眼レンズの倍率 × 対物レンズの倍率 = 顕微鏡の総合倍率

練習問題1

光学顕微鏡について次の問いに答えよ

- (1)倍率40倍の対物レンズと倍率10倍の接眼レンズを使った場合、顕微鏡の倍率は何倍になるか。
- (2)顕微鏡の倍率を300倍にして使いたい時、倍率10倍の接眼レンズと組み合わせて使う対物レンズの倍率は何倍か。

練習問題1 解答

光学顕微鏡について次の問いに答えよ

(1)倍率40倍の対物レンズと倍率10倍の接眼レンズを使った場合、顕微鏡の倍率は何倍になるか。

$$40 \times 10 = 400$$

(2)顕微鏡の倍率を300倍にして使いたい時、倍率10倍の接眼レンズと組み合わせて使う対物レンズの倍率は何倍か。

$$300 \div 10 = 30$$

今回の授業

顕微鏡・分光

- 顕微鏡の基礎・種類
- 走査型電子顕微鏡
- 分光法とは

電子顕微鏡

- 走査型電子顕微鏡(SEM: Scanning Electron Microscope)

電子線を物体に当て、物体から来る二次電子や反射電子を検出して試料の形状を観察する

- ✓ 無機物、有機物および生体まで
幅広く観察可能
- ✓ 光学顕微鏡より遥かに高い倍率
(数万倍程度)

試料に導電性を持たせることが
必要



電子顕微鏡

・走査型電子顕微鏡の原理

試料に電子線を照射

⇒表面から**二次電子**や**反射電子**が発生(右下図)

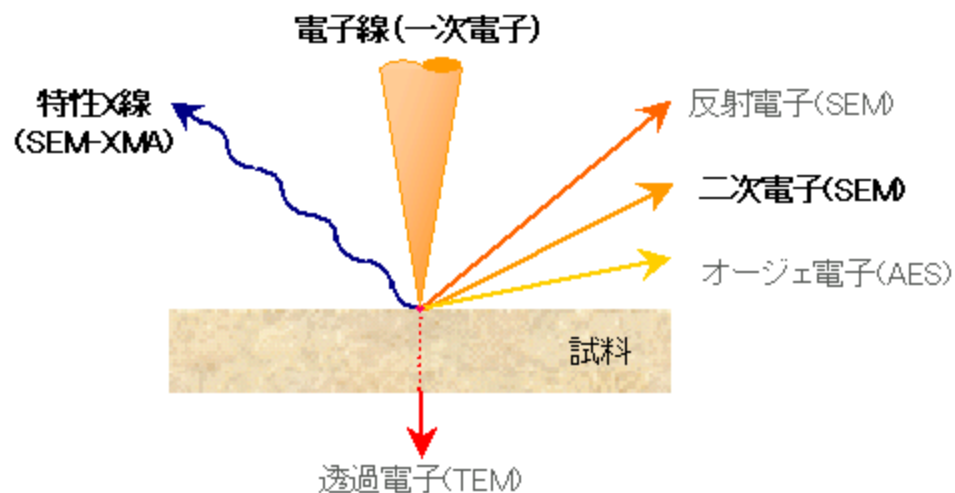
細かく絞った入射電子ビームを試料表面に走査させ、
発生した二次電子を検出し、**発生量を輝度の信号に変換**

二次電子の発生量

凹凸の凸部 ⇒ 多い

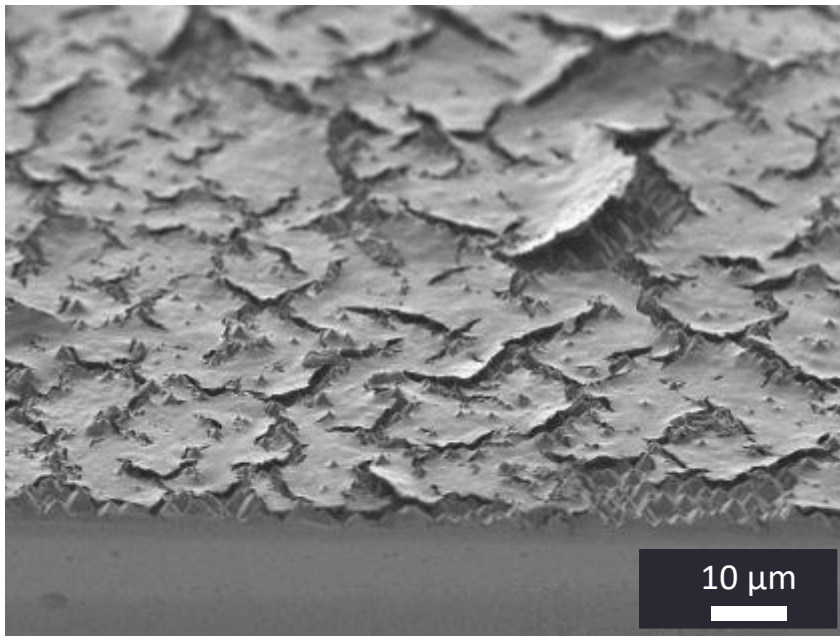
凹凸の凹部 ⇒ 少ない

三次元構造を観察可能

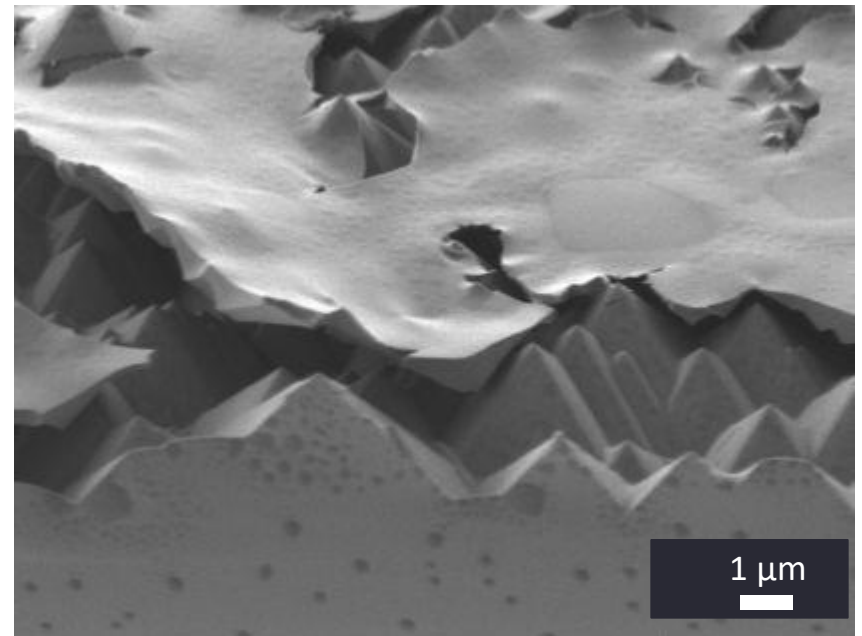


電子顕微鏡

・走査型電子顕微鏡の観察例



× 1000



× 7500

電子顕微鏡

- 透過型電子顕微鏡(TEM: Transmission Electron Microscope)
透過型電子顕微鏡とは試料に対し電子ビームを照射し試料を透過してくる電子を結像して観察を行う電子顕微鏡

SEMより高い倍率の像を
観察できる(～100万倍)

電子を透過させるため非常に薄い
(～100 nm)試料が必要



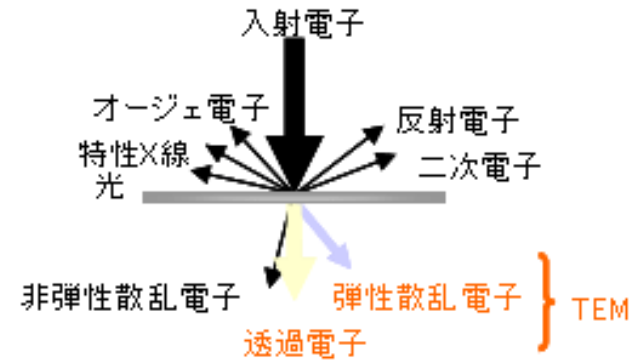
電子顕微鏡

- 透過型電子顕微鏡の原理
電子線が試料を透過する際
二つの電子が発生

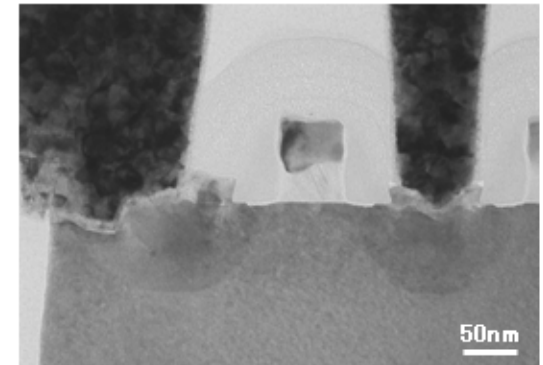
✓ 試料に散乱されずにそのまま直進する
透過電子 ⇒ 明視野像を結像

✓ 原子の種類により散乱されて出てくる
散乱電子 ⇒ 暗視野像を結像
暗視野像は明視野像で検出しにくい
結晶欠陥などを観察可能

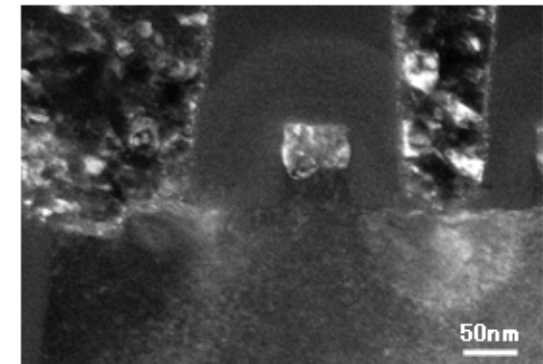
電子線と物質との相互作用



・明視野像



・暗視野像



今回の授業

顕微鏡・分光

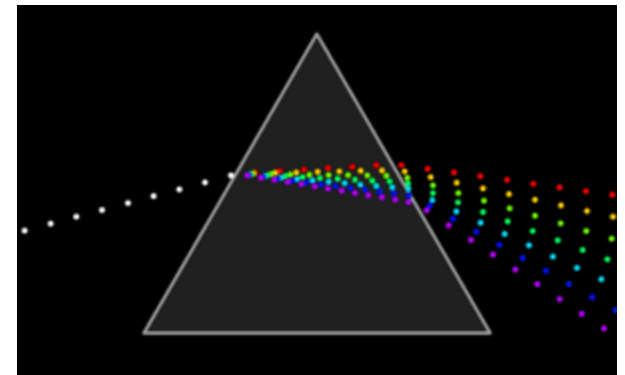
- 顕微鏡の基礎・種類
- 電子顕微鏡
- 分光法とは

分光法とは

- 分光法(spectroscopy)とは
物理的観測量の強度を**周波数、エネルギー、時間**
などの関数として示すことで、対象物を調べる手法

Spectroscopyは元々は光をプリズムで分光した(右下図)
ものをspectrumと呼んだことに由来する

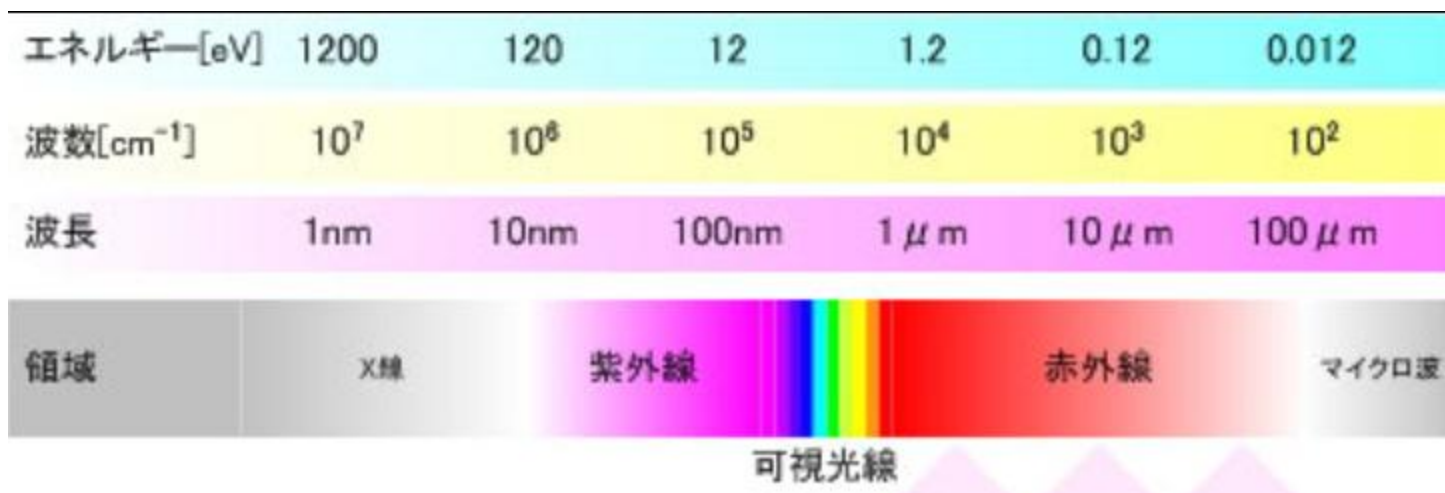
もともとは可視光の放出や吸収を
研究する分野だったが、
現在は**エネルギー準位**を持つ
様々なものに対応



分光法とは

- スペクトル

光はそれぞれの**波長**に応じたエネルギーを持っており、それを測定することで元素分析など様々な分光技術に応用できる。
同様に、物質から飛び出た電子なども固有のエネルギーを持つ



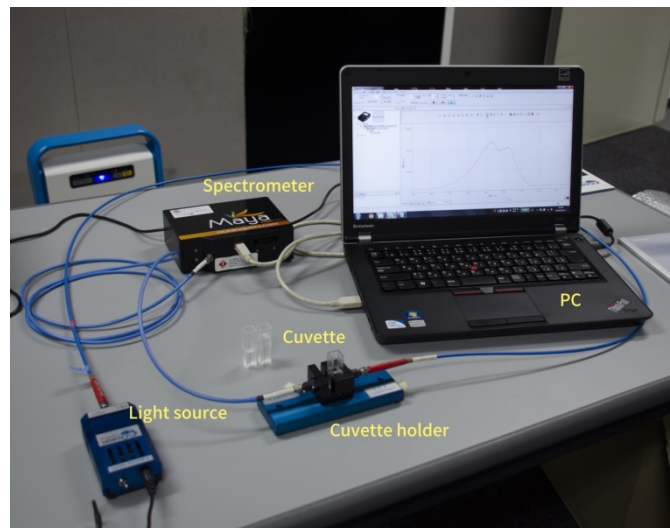
実験1: ショ糖水溶液の透過スペクトル計測

近赤外分光法により糖度の影響が現れる波長を調べる

- ▶ 吸収されずに透過する光を計測

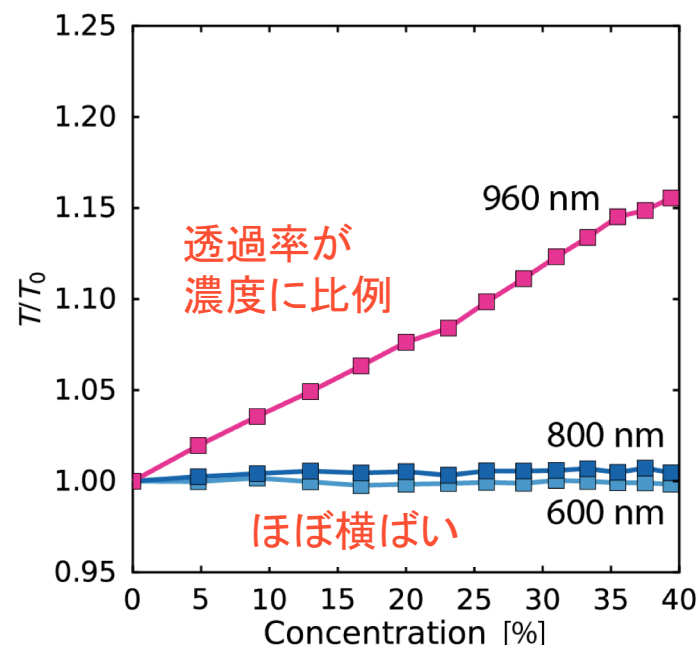
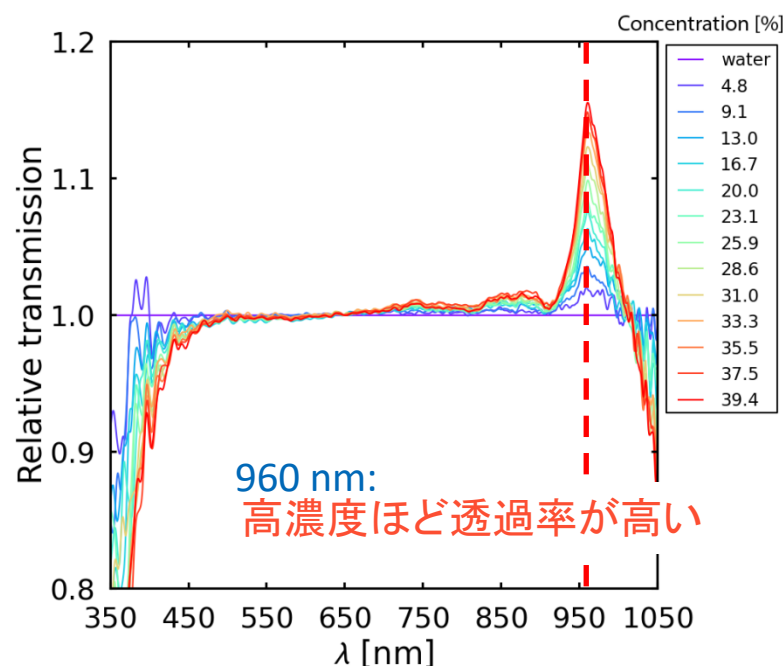
実験機器

- ▶ 分光器(回折格子分光法, 波長域 500-1500 nm)
- ▶ ハロゲン光源 など



実験1: ショ糖水溶液の透過スペクトル計測

近赤外分光法により糖度の影響が現れる波長を調べる



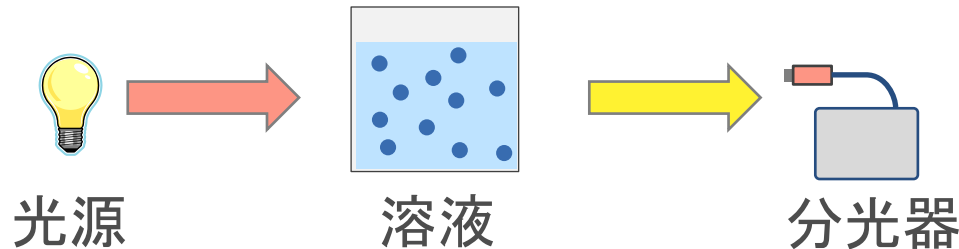
水を基準とした相対透過スペクトル(濃度ごと)

ショ糖濃度と透過率(波長ごと)

波長960 nmはショ糖濃度と相関がある

ランバート・ベールの法則

- 光の強度の変化



- ランバートの法則: 光路長に対して指数的に減少
- ベールの法則: 濃度に対して指数的に減少
- 入射光の強度 I_0 , 光路長 l , 濃度 c とすると,
透過光の強さ I は

$$I = I_0 \cdot 10^{-\varepsilon cl} \quad \varepsilon \text{はモル吸光係数}$$



吸光度

- 透過光の強度と入射光の強度の比を透過率 T で表す

$$T = \frac{I}{I_0} \times 100 \text{ [%]}$$

ランバート・ベールの法則 $I = I_0 \cdot 10^{-\varepsilon cl}$ より

$$\frac{T}{100} = \frac{I}{I_0} = 10^{-\varepsilon cl} \Leftrightarrow \log_{10} T = -\varepsilon cl$$

吸光度 A を $A = \varepsilon cl$ と定義すると,

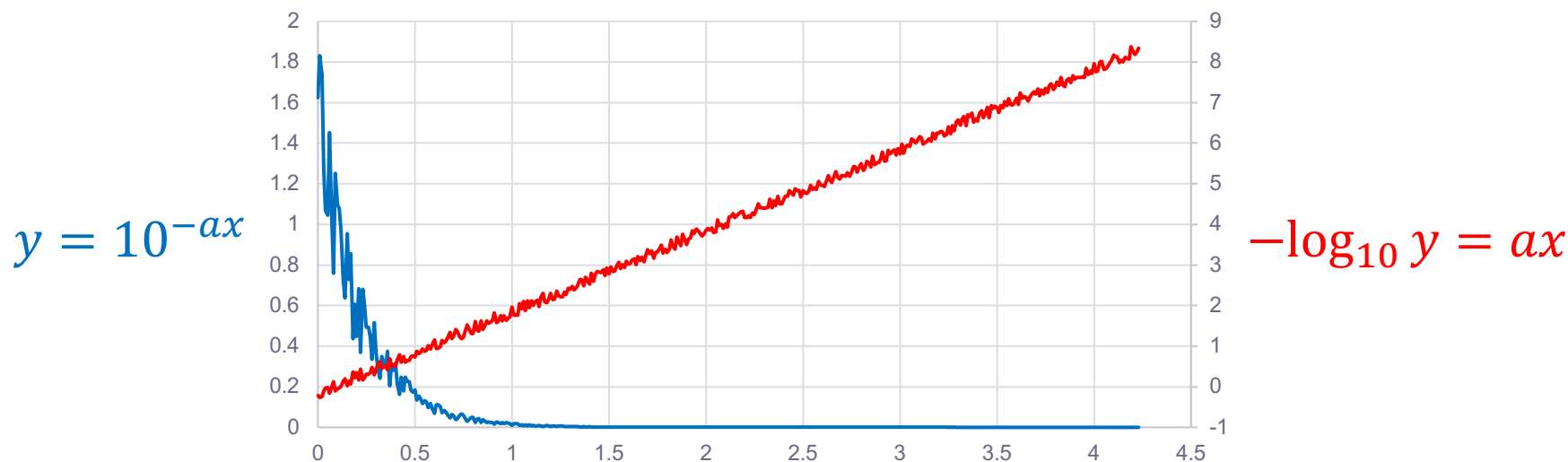
吸光度と透過率には次の関係が成り立つ.

$$A = \varepsilon cl = 2 - \log_{10} T$$

ただし, ε はモル吸光係数

対数グラフ

ある物理現象における数値の変化が指数で表されるとわかっている場合、そのままグラフで表すのではなく、logをとったグラフで表す方が解析しやすい場合がある。



上のグラフの場合、青色のグラフから定数 a を求めるのは困難だが、赤色で示すlogをとったグラフで表せば、 a を変化の割合として $a = \frac{y \text{の増加量}}{x \text{の増加量}} = \frac{1}{0.5} = 2$ と簡単に求めることができる。