

# チンダル現象における光の道筋の長さが変わる条件

班員 金井 航輝、浜田涼太郎、松永 幸子、松柳 湖愛  
担当教諭 北 浩也

キーワード：チンダル現象 アインシュタインストークスの式

Tyndall phenomenon can show the path of light to reflect some minute particles in the liquid. The purpose was to research factors that causes changes in the path length of light. In conclusion, the path length of light in the Tyndall phenomenon is related to the mass percentage concentration, also there may be a particle size that can make the path length of light longest.

## 1 はじめに

私たちの身の回りでは、光が直進する性質をもつことはよく知られている。しかし、霧の中で車のヘッドライトの光の道筋がはっきりと見えたり、太陽光の道筋がぼんやりと見える木漏れ日などの現象を経験したことがある人も多いだろう。このように、通常は見えないはずの光の通り道が可視化される現象は「チンダル現象」と呼ばれている。チンダル現象は、溶液中に分散した微粒子による光の散乱によって生じる現象であり、真の溶液とコロイド溶液を見分ける手段としても利用されている。コロイド溶液とは、コロイド粒子が液体中に分散した溶液のことである。コロイド粒子と分子、イオンは、粒子の大きさで区別される。分子イオンの半径は  $10^{-10}\text{m}\sim 10^{-9}\text{m}$  に対し、コロイド粒子は  $10^{-9}\text{m}\sim 10^{-6}\text{m}$  で、コロイド溶液のほうが比較的に大きい。例えば、食塩水のような真の溶液では光の進路は見えないが、牛乳や霧のようなコロイド粒子を含む物質では、光が散乱され進路が確認できる。また、チンダル現象は自然界のさまざまな現象とも深く関係している。空が青く見える理由や、夕焼けが赤く見える現象も光の散乱と関係しており、チンダル現象を理解することは、これらの身近な自然現象を科学的に説明する手がかりとなる。さらに、近年では大気中の微粒子の観測や、液体の性質を調べる実験などにも応用されており、基礎的な物理現象でありながら、実用的な価値も高い。このようにチンダル現象は、日常生活で目にすることができる身近な現象である一方、その背景には光の性質や物質の状態に関する

重要な科学的原理が含まれている。そこで本研究では、チンダル現象が起こる条件や、その見え方に影響を与える要因について実験を通して詳しく調べ、チンダル現象の理解をより深めることを目的とする。先行研究から、チンダル現象が原因で起こるペットボトルライトの照度とコロイド溶液の濃度と関係があり、コロイド溶液の濃度を濃くするにつれて、ペットボトルライトの照度が高くなることがわかっている。本研究では、コロイド溶液に赤色レーザーを照射したときの光の道筋の長さが変わる条件について調べた。

## 2 実験方法

調整したコロイド溶液を、縦×横×高さ＝ $4.9\times 8.7\times 9.2$  cmのプラスチック製の容器に入れ、波長632.8nmの赤色レーザーを照射し光の道筋の長さを測定した。本実験では、容器の端から目視で光の筋が確認できるところまでを光の道筋の長さとして定義し、定規を用いて長さを測定した。

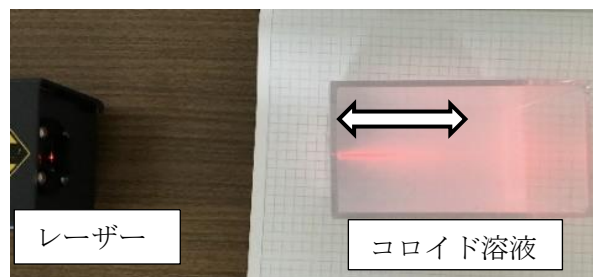


図1 レーザーをコロイド溶液に入射させたときの様子

<予備実験>

溶液の温度と光の道筋の長さの関係について

て調べた。

精製水に牛乳を質量パーセント濃度が0.5%、1.0%になるように入れたコロイド溶液を作った。それぞれの溶液の温度を10度から70度まで10度ずつ上げ、化学実験室で光の道筋の長さを測定した。

<実験Ⅰ>

コロイド溶液の濃度と光の道筋の長さの関係を調べた。精製水に牛乳を質量パーセント濃度が0.2%から2.0%になるように入れたコロイド溶液を作り、光の道筋の長さを暗室で測定した。この時溶液の温度は14度だった。

<実験Ⅱ>

濃度と光の道筋の長さの関係を調べた。精製水にカオリンの濃度が0.2 g/Lから2.0 g/Lまで0.2 g/L刻みになるように溶液を作り光の道筋の長さを暗室で測定した。カオリンとは水に入れても半径が変わらない粘土鉱物である。この時溶液の温度は13度だった。

<実験Ⅲ>

粒子半径と光の道筋の長さの関係について調べた。精製水に牛乳を質量パーセント濃度が0.2%から2.0%まで0.2%刻みになるように入れたコロイド溶液を作り、光の道筋の長さを暗室で測定した。溶液の温度は14度だった。粒子半径はそれらの溶液の粘度を粘度計を用いて、作動させてから1分後の値を測定し、アインシュタインストークスの式に代入して求めた。拡散係数Dには、 $1.0 \times 10^{-11} \sim 1.0 \times 10^{-12} (\text{m}^2/\text{s})$ を代入し、絶対温度Tには、287Kを代入した。

$$r = \frac{k_B T}{6\pi\eta D}$$

D: 拡散係数( $\text{m}^2/\text{s}$ )  
 $k_B$ : ボルツマン定数  
 T: 絶対温度( $\text{K}$ )  
 $\eta$ : 流体の粘性係数( $\text{Pa} \cdot \text{s}$ )  
 r: 粒子の半径( $\text{m}$ )

図2 アインシュタインストークスの式

<実験Ⅳ>

粒子半径と光の道筋の長さの関係について調べた。<実験Ⅲ>と同様に精製水に牛乳を質量パーセント濃度が0.2%から2.0%になるように入れたコロイド溶液を作り光の道筋の長さを暗室で測定した。粒子半径はそれらの溶液の粘度を粘度計を用いて、作動させてから5分後の値を測定し、アインシュタインストークスの式に代入して求めた。溶液の温度は溶液ごとに測定した。

3 実験結果

<予備実験>

0.5%、1.0%のどちらも温度による大きな違いは見られなかった。

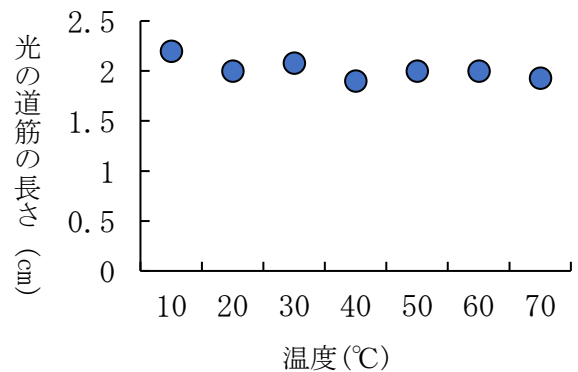


図3 溶液の温度と光の道筋の長さの関係 (濃度 0.5%)

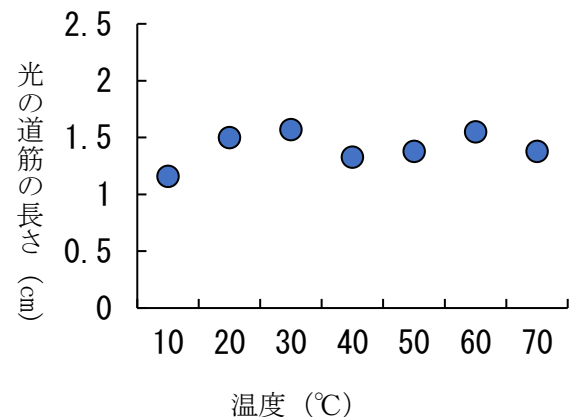


図4 溶液の温度と光の道筋の長さの関係 (濃度 1.0%)

<実験Ⅰ>

質量パーセント濃度が大きくなるにつれ

光の道筋の長さは短くなった。また、0.2%、0.4%のときの光の道筋の長さが同じなのは光が容器を通り抜けたためである。

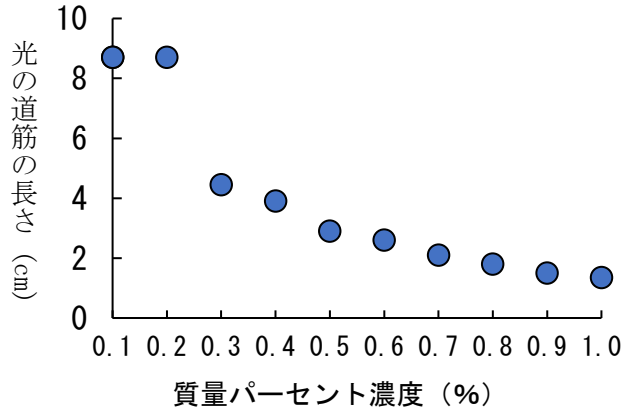


図5 溶液の質量パーセント濃度と光の道筋の長さの関係

<実験II>

濃度が大きくなるにつれて光の道筋の長さは短くなった。

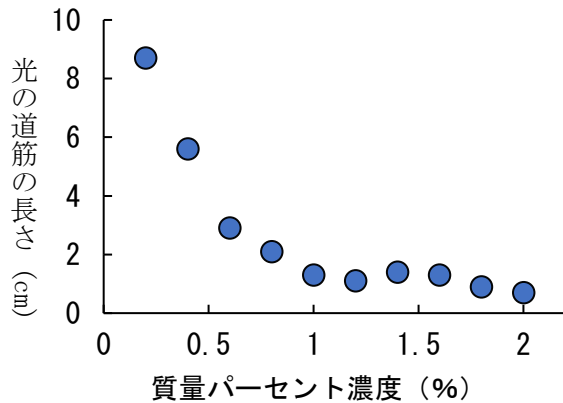


図6 溶液の濃度と光の道筋の長さの関係

<実験III>

粒子半径と光の道筋の長さには相関は見られなかった。

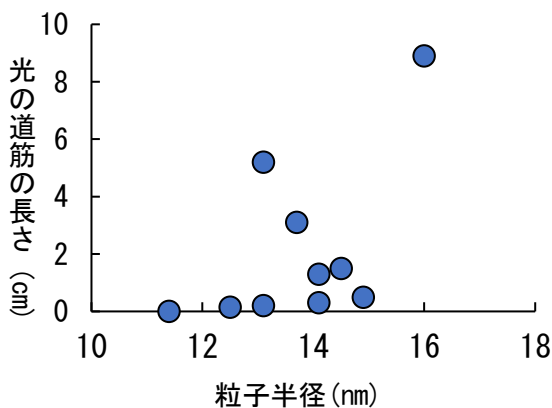


図8 粒子半径と光の道筋の長さの関係

<実験IV>

粒子半径が71nm、75nmのとき光の長さは一番長くなった。粒子半径が71nm、75nmに近づくとつれて光の道筋の長さが長くなっており、それより大きくなっていくと短くなっている。

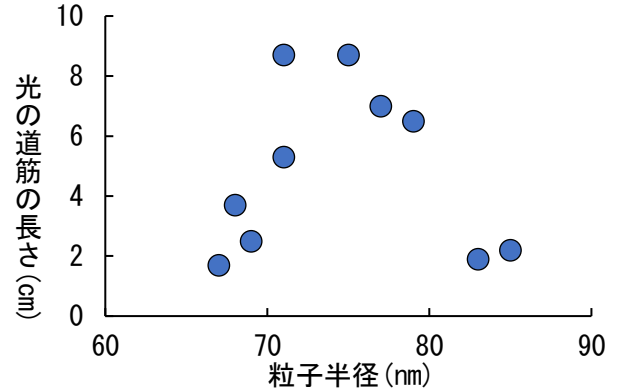


図8 粒子半径と光の道筋の長さの関係

4 考察

<予備実験>

溶液の温度による光の道筋の長さの違いはないと考えた。また、暗室と化学実験室では、光の道筋の長さの見え方が変わり、化学実験室のほうが光の道筋の長さが短くなると分かった。そこでより正確に測定するため、<実験I>、<実験II>、<実験III>では暗室で測定した。

<実験I>

質量パーセント濃度が高くなるほどコロイド粒子の数も多くなっていくため、光を散乱させすぎてしまい、光が遠くまで届きにくい傾向があると考えた。しかし、濃度を変えると粒子半径も変わってしまうため、対称実験と不十分であると分かった。

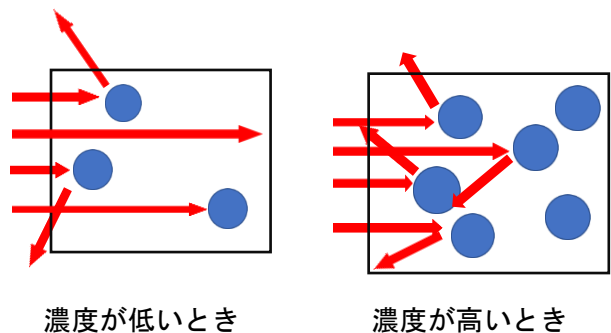


図9 濃度による光の散乱の仕方の違い

### <実験Ⅱ>

光の道筋の長さは濃度が高くなるにつれて短くなり、<実験Ⅰ>の結果とグラフが類似していることから、光の道筋の長さは粒子半径よりも、コロイド粒子の数に関係しているのではないかと考えた。しかし、完全に一致しているわけではないことから粒子半径にも少し関係があると考え、<実験Ⅲ>を行った。

### <実験Ⅲ>

粘度計を作動させてから1分後の粒子半径と光の道筋の長さにあまり関係がないと考えた。しかし、<実験Ⅲ>を行っているときに、粘度の値が1分間の間に大きく変化していることに気づいた。そこで、<実験Ⅳ>では、粘度の値が安定した、5分後の粘度の値を計測して行った。

### <実験Ⅳ>

粒子半径が大きいときは、赤色レーザーがコロイド溶液に入射してすぐに光が滞ってしまい、粒子半径が小さいときは、光の散乱が少なく光の筋を目視で確認しにくくなるため光の道筋の長さが短くなったのではないかと考えた。(図10)そこで、光の道筋の長さを最大にするために最適な粒子半径が存在する可能性があると考えた。

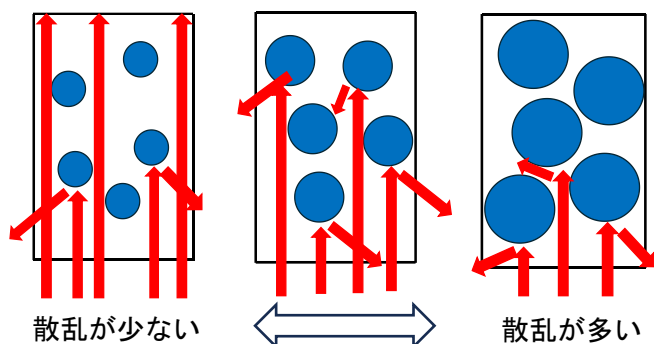


図10 粒径による光の散乱の仕方の違い

## 5 結論

チンダル現象における光の道筋の長さはコロイド溶液の濃度とコロイド粒子の半径に関

係がある。コロイド溶液の濃度が高くなるにつれて、光の道筋の長さは短くなる。また、光の道筋の長さが最大になるために最適なコロイド粒子の半径が存在する可能性がある。

## 6 謝辞

金沢工業大学坂本様から研究手法についてご助言をいただきました。感謝申し上げます。

## 7 参考文献

本山楓真, 長尾伊真, 各務凌. ” ペットボトルライトにおける濃度と照度の関係”. 岡山県立倉敷天城高等学校普通科2年次生課題研究論文集. 令和5年, p. 13-14.