

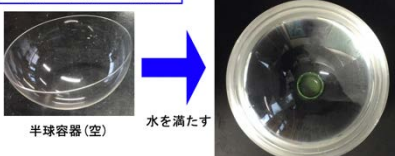
新たな物理原理を活用した水溶液濃度測定アプリケーションの開発

～ 画像検出を用いたアプリによる測定時間の短縮と簡易化へ向けて ～

熊本県立宇土高校 科学部 吉野 泰生

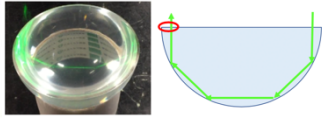
新たな物理原理の発見! (2017年)

1 謎の現象の発見



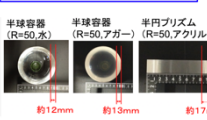
半球容器(空) 水を満たす
半球容器(水入り) (真上から観察)

2 原理の解明



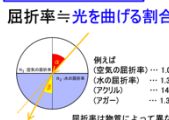
(光の進む経路の確認) (イメージ図)
片方のゾーンにレーザー光を入射させると容器の縁で全反射を繰り返して反対側に出射
謎のゾーンは光の全反射によって出現!
Zゾーン(全反射のゾーン)と名付けた

3 Zゾーンの幅の長さ



半球容器 (R=50, 水) 半球容器 (R=50, アガー) 半球プリズム (R=50, アクリル)
約12mm 約13mm 約17mm
媒質によってZゾーンの幅が異なる
では幅の長さを変える要因は?
→ **媒質の屈折率では?**

4 屈折率とは?



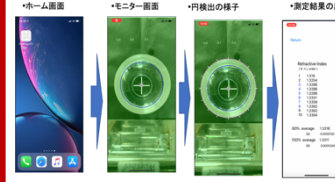
屈折率 = 光を曲げる割合
屈折率の法則
 $n_1 \cdot \sin \alpha = n_2 \cdot \sin \beta$
…全反射を決める値でもある

5 屈折率を求める関係式の導出

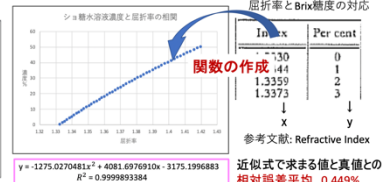
媒質	水	アガー(ゼラチン)	アクリル(固)
屈折率	1.333	1.49	1.49
Zゾーン幅	12.50	12.72	18.44
Zゾーン幅(測定値)	12.355	12.410	14.891
誤差(%)	0.01	0.004	0.004

$n = \frac{R}{a} = \frac{R}{R-Z}$ (Zゾーンの幅) と「半球の半径」
「屈折率n」の関係式を計測値から導出
このZゾーンの幅は媒質の屈折率に関係していることを突き止めた(世界初!)

3 作成したアプリ

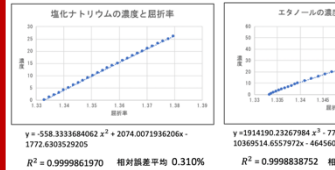


4 屈折率から濃度へ変換



①モニター上の固定の円の隅のZゾーンの小さいほうの隅にカメラを設置
②円の周辺の輝度の値を取得して円内での平均値を取る
③モニターが縁が当たっているのは水平器機能によるもの
④計測されたデータのうち中央60%のデータを用いて平均を求め結果とする。
相対誤差平均 = $\frac{1}{50} \sum_{i=1}^{50} \frac{|y_i - f(x_i)|}{y_i}$
近似的に求める値と真値との相対誤差平均 0.449%

5 その他の水溶液



シロ糖のみだけではなく塩化ナトリウムやエタノールなどほぼ全ての溶質の濃度変換が可能!

6 追加プログラム

- ① 屈折率の測定
- ② 溶質の選択
- ③ 1分岐によりその溶質に対応した関数が呼ばれる
- ④ 関数に屈折率を当てはめ、濃度に変換
- ⑤ 結果を出力。

今までの測定方法 (2018年)

1 Zゾーン屈折率測定法

① 水で満たした半球容器等を固定したカメラで上から撮影する。
半球容器 (R=50・75・100・125mm) 特注半球プリズム (10,000円/個)
② ImageJ (高機能画像解析ソフト) を用いて幅zを計測する。
※撮影は専用の台を使用してiPadで記録。
・操作が全員で確認できる
・動画、静止画が記録できる
・解像度が高い(2M)
画像の撮影の様子

2 ImageJとは

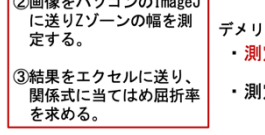
・画像処理に用いられる数値計算のパラメータが分かりやすい
・ピクセルの数値を元に再現性の高い計算処理を行うことが可能
科学研究における画像解析に広く利用される解析ツール

3 測定精度

	ImageJ	カーボンガス
曲率半径(mm)	50	
媒質	水	
屈折率(理論値)	1.333	
Z(mm)	12.5005	12.3733
屈折率(測定値)	1.3334	1.3288
標準偏差	0.04589	0.3642
誤差(%)	0.0263	0.0889

精度約12倍
画像解析によって精度最大約12倍も向上!
特注容器で簡単に正確に測定可能に!
Zゾーン幅と媒質の濃度の関係性が明らかに!

4 水溶液の屈折率



方法2 アプリ測定精度の向上

1 偏って検出される円

① 円周辺の輝度値から円の再評価
(OpenCV HoughCircles関数を用いたときに偏って検出された円)
偏って検出された円
元々の関数だけでは円を正しく検出できない

2 円の再評価

【図1】上に偏って検出された円
① 円周辺の輝度値から円の再評価
② 円周辺の輝度値から円の再評価
③ 円周辺の輝度値から円の再評価
④ 円周辺の輝度値から円の再評価
⑤ 円周辺の輝度値から円の再評価

2 円の再評価

【図1】上に偏って検出された円
① 円周辺の輝度値から円の再評価
② 円周辺の輝度値から円の再評価
③ 円周辺の輝度値から円の再評価
④ 円周辺の輝度値から円の再評価
⑤ 円周辺の輝度値から円の再評価

結果 アプリの精度比較

1 アプリの測定方法

① 半球容器に砂糖水 0%・10%・20%それぞれを満たす。
② スマートフォンをジャッキの中心を調整して設置する。
③ ImageJによる測定とアプリによる測定を100回ずつ(約600回)行う。
④ 結果から精度を比較する

2 アプリの精度評価

	ImageJによる測定	アプリによる測定
シロ糖水溶液濃度	0%	0%
10%	10%	10%
20%	20%	20%
標準偏差	0.0015475	0.0018681
標準誤差	0.0001846	0.0001932
測定値の平均	0.0001846	0.0001932
相対誤差	0.0538144	0.0005364
相対誤差平均	0.0185262	0.0179437
標準偏差	0.0015475	0.0018681
標準誤差	0.0001846	0.0001932
測定値の平均	0.0001846	0.0001932
相対誤差	0.0538144	0.0005364
相対誤差平均	0.0185262	0.0179437
測定時間	約120~150秒	約5~10秒

方法1 アプリ作成方法

1 アプリ開発の指針

① Zゾーンを真上からiPadで撮影。
② 画像をパソコンのImageJに送りZゾーンの幅を測定する。
③ 結果をエクセルに送り、関係式に当てはめ屈折率を求める。

2 円の検出関数

OpenCV HoughCircle関数 (円の検出で使用した関数) 原理
① 画像からエッジの勾配を検出。エッジ上の一つのピクセルに注目し、その点と他のある点(x,y)を中心とする円をすべて描いていき、(x,y,r)の三次空間に投票する。それをエッジ上のすべてのピクセルで行う。
② その結果、(x,y,r)の投票数の最大となる値を求める。そして、周囲より小さい投票数の円が除外されて、残った円が出力される。

$$n = \frac{R}{a} = \frac{R}{R-Z}$$

- ① 大小2つの円を検出して
- ② 半径値を式に代入
- ③ 屈折率nの値を返す。

展望

1 応用分野

- 飲料水の糖度測定
- 調味料の塩分濃度測定
- お酒のアルコール濃度測定
- 果物の糖度測定
- 農業の濃度測定
- バイオエタノールの濃度測定
- 血液や体液中のウイルス抗体の検出

2 小型測定器具

装置部品 上から
プラスチッククリップ
→ 近写レンズ
→ カパフィルム
→ 半球フィルム
→ 大型カバー
【イメージ図1.2 - FreeCADにより作成】
・非常に小さい体積での測定が可能
半径1cm (体積20ml)
・取り外しや持ち運びが
簡単に多面に応用可能。
【イメージ図3】

謝辞・参考文献

本研究を行うにあたり、宇土高校科学部顧問の尾尾海宏先生にアドバイスを頂きました。
また、アプリケーションによる測定精度向上にあたり、公立大学法人熊本県立大学の飯村研究室の飯村先生他5名の先生方にご助言いただきました。
感謝申し上げます。