

紫外線照射によるポリ乳酸の蛍光

2年9組 伊佐地 悠希

2年9組 中川 舞香

2年9組 吉村 歩華

指導教諭 古谷 昌広

1 要約

ポリ乳酸は生分解性という性質を持ち、プラスチックによる環境破壊を解決する方法の一つとして期待されている。私たちはポリ乳酸に着目し、様々な実験を行ったところ、驚くべきことに、一般的に蛍光しないとされているポリ乳酸からの蛍光を確認した。この原因を究明することを目的として本研究を開始した。加熱前の乳酸の状態でも弱い蛍光が見られたこと、加熱時間を変えてポリ乳酸を生成すると加熱時間が長いほど蛍光が強くなることが分かった。これらの実験結果は、乳酸に含まれる不純物が蛍光にかかわること、重合度が大きくなるほど蛍光が強くなることを示していると考えられる。

ABSTRACT

Polylactic acid, which is biodegradable, is expected to be a possible solution to plastic pollution. We focused on polylactic acid and conducted various experiments. Surprisingly we confirmed the fluorescence of polylactic acid, which is generally considered not to be fluorescent. In order to identify the cause of this phenomenon, we began this research. We observed weak fluorescence in lactic acid prior to heating. We also found that the longer we heated the lactic acid, the stronger the fluorescence is when we produced polylactic acid with various samples of lactic acid heated for varying amounts of time. From these results we think that impurities including lactic acid, affect the observed fluorescence in polylactic acid, and that the greater the degree of polymerization, the stronger the fluorescence is.

キーワード 乳酸、ポリ乳酸、蛍光、紫外線

Key word lactic acid, polylactic acid, fluorescence, ultraviolet

2 緒言

近年、プラスチックによる環境破壊が問題となっている。プラスチックを生成する際に大量の二酸化炭素を排出したり、マイクロプラスチックとなって自然界に残り続けたりする。このような環境問題を解決するために、プラスチックにはカーボンニュートラルを実現すること、生物によって分解されることが求められている。そこで私たちはその二つの特徴をもつ「ポリ乳酸」に注目した。

ポリ乳酸は、植物由来のでんぷんを原料とする乳酸が重合したバイオマスプラスチックである。¹⁾ その原料の安全性を生かして、食品用トレイや農業用フィルムとして利用されている。²⁾ しかし、ポリ乳酸は紫外線に対する耐久性に乏しいという欠点がある。私たちはポリ乳酸の反応を知るために紫外線を照射した。その結果、ポリ乳酸の蛍光が確認された。

Shuai Zhang らによれば、ポリ乳酸は蛍光を示さないことが述べられている。¹⁾ ポリ乳酸が蛍光を発する仕組みについて調べた研究を見出すことはできなかった。

物質が蛍光を発するためには、電子が励起状態になる必要がある。そしてこの励起状態になる物質には、ベンゼン環と呼ばれる構造があることが多い。^{2) 3)} しかし、ポリ乳酸にはベンゼン環がないため、蛍光を発する可能性は低い。このようなことから、ポリ乳酸から蛍光が生じることは、先行研究では言及されておらず、私たちはこの現象に大きな興味を持ち、その原因を追究するべく研究を開始した。

なお本研究では、乳酸を重合することによって生成したポリ乳酸を使用している。乳酸に蛍光物質となる不純物が入っていることも考えられたので、使用している乳酸を製造する富士フィルムに、製造過程で乳酸に何らかの不純物が含まれているかどうか確認したところ、「詳細な不純物についての同定は行っておらず、情報がない」と回答があった。また、他の会社が製造する乳酸でも同様の実験を行ったところ、ポリ乳酸の蛍光が確認された。

3 目的

ポリ乳酸が蛍光を発する原因および加熱することで蛍光が強くなる原因を追究すること。

4 研究

実験 1 ポリ乳酸の蛍光

(1) 実験方法

アルミニウム製のカップに乳酸（富士フィルム社製、128-00056）15mL を入れ、230°C に熱したホットプレートで 60 分間加熱した。その後、常温でよく冷まし、固まるのを待った。⁴⁾ 図 1 に示す装置で試料の写真を撮影した。なお、紫外線ライト（フナコシ株式会社、95-0018-08、波長 365nm）の机からの高さは 8 cm、撮影用のスマートフォンは机からの高さは 14 cm

であった。また、純水にも紫外線を照射し、ポリ乳酸の蛍光と比較した。

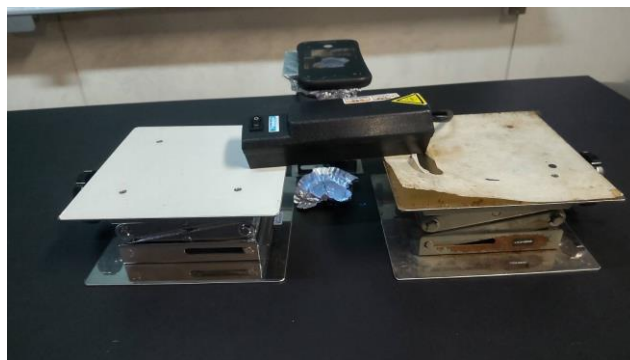


図 1 紫外線照射装置

(2) 実験結果

ポリ乳酸から蛍光が見られ、純水では見られなかった。(図2)



図2 60分間加熱したポリ乳酸の蛍光
(左)蛍光が見られない純水(右)

実験2 アルミニウムが蛍光に影響しているのか

(1) 仮説

アルミニウム製のカップに入れた乳酸を加熱し紫外線を照射したところ蛍光がみられたことから、アルミニウムが蛍光の原因ではないかと考えた。このことを確かめるために、アルミニウム製カップの代わりに試験管(ガラス)を用いた。

(2) 実験方法

2本の試験管に乳酸を5mLずつ入れた。一方の試験管に対しては、ガスバーナーによる加熱を60分間行った。もう一方の試験管は、加熱せず室温で放置した。その後、2本の試験管に紫外線を照射し、蛍光が生じるかどうかを確かめた。

(3) 実験結果

加熱したポリ乳酸から蛍光が生じた。

(図4) 加熱していない乳酸からも非常に弱い蛍光が生じることを確認した。(図3) なお、純水を入れた試験管に紫外線を照射しても、蛍光を観察することはできなかった。



図3 未加熱



図4 60分間加熱

(4) 考察

アルミニウム製のカップから試験管に代えても蛍光が確認できたことから、アルミニウムは蛍光の原因でないことが分かった。また、加熱しなくても乳酸が蛍光を発生したことから、乳酸に含まれている何らかの物質が蛍光の原因であると考えた。

実験3 加熱時間と蛍光強度の関係

まず、加熱と蛍光に関係があるのかを調べるため、次のような実験を行った。

(1) 実験方法

アルミニウム製のカップに乳酸を15mL入れ、230°Cに熱したホットプレートで加熱した。加熱時間を15分間、30分間、45分間、60分間と変えてポリ乳酸を生成し、常温でよく冷まし、固まるのを待った。実験1の方法で試料の写真を撮影し、目視にて比較した。実験は3度行った。

(2) 実験結果

加熱時間(分間)	0	15	30	45	60
状態	液体	液体	固体	固体	固体
紫外線照射					
紫外線なし					

図5 加熱時間ごとのポリ乳酸の蛍光の様子

加熱時間が長いほど蛍光が強くなった

た。また、紫外線照射前のポリ乳酸の色は加熱時間とともに褐色が濃くなった。15分間加熱して生成したポリ乳酸は乳酸より粘度の増した液体であった。30分間の加熱で生成したポリ乳酸は柔らかく、手で曲げることができた。45分間、60分間の加熱で生成したポリ乳酸は固く、手で曲げようとするとう割れた。

(3) 考察

第一に、加熱すればするほど粘度が大きくなり、やがて固体になることから、加熱時間が長いほど重合度が大きくなると思われる。よって、重合度が大きくなるほど蛍光が強くなるのではないかと考えられる。

第二に、重合度が大きくなると蛍光が強くなる可能性について、重合度が大きくなると、乳酸イオン・水素イオンが減少する。蛍光物質が含まれていた場合、これにより蛍光物質の最適pHに近づき、蛍光が強くなるのではないかと考えられる。

第三に、加熱時間が長いほど乳酸の蒸発量が増え、混入または生成した蛍光物質の濃度が大きくなるため、蛍光が強くなるのではないかと考えられる。

第四に、褐色が濃くなり、蛍光が強くなることから、加熱すると褐色になる物質が蛍光に関係している可能性が考えられる。

実験4 加熱時間と重合度の関係

奈良高校の設備ではポリ乳酸の重合度を測定できないため、次の仮説のもと実験を行った。

(1) 仮説

乳酸が重合すれば、乳酸イオンと水素イオンが減少する。そのため、重合度が大き

くなれば、抵抗値が増加すると考えた。

(2) 実験方法

アルミニウム製のカップに乳酸を15mL入れ、230°Cに熱したホットプレートで加熱した。その際、デジタルマルチテスターでアルミニウム製のカップ内の液体の抵抗値を連続して1時間測定した。抵抗値をビデオカメラで撮影した。実験3と同様にポリ乳酸を作成、観察した。

(3) 実験結果

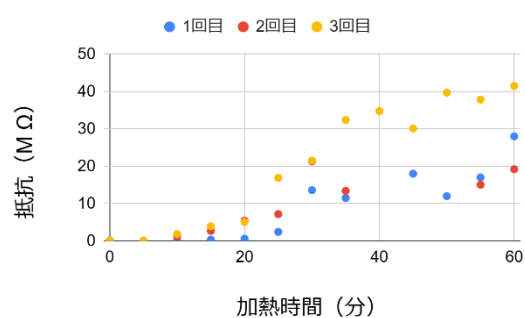


図6 加熱時間と液体の抵抗値

図6に示すグラフは、ビデオカメラに記録された加熱時の液体の抵抗値を5分毎に表したものである。1回目の40分間加熱時、2回目の35分間、40分間、45分間加熱時の抵抗値は、液体の蒸発により、液面とマルチテスターが接してなく、測定することができなかった。

加熱時間とともに抵抗値が大きくなった。抵抗値は実験ごとに値の大きさが異なった。加熱をしていない乳酸の抵抗値の測定では、数値が安定するまでに時間がかかり、計測するたびに異なった。

(4) 考察

加熱時間が長くなるにつれて抵抗値が増加した。また、加熱後のポリ乳酸を常温で放置すると固くなった。これらのことか

ら、抵抗値と重合度に正の相関があることが示唆された。ただし、重合度ごとのポリ乳酸の抵抗値を測定していないので立てた仮説が正しいとは言い切れない。仮説のもと考察すると、重合度の増加に伴い、ポリ乳酸の蛍光が強くなると考えられる。

5 まとめ

乳酸には蛍光物質が含まれているとは確認されていない。複数の会社の乳酸とポリ乳酸に紫外線を照射すると蛍光が確認された。乳酸とポリ乳酸が蛍光を発する原因として、乳酸を製造する際によく残留する不純物が蛍光を発している、または乳酸自体が蛍光を発していると考えられる。

また、蛍光が強くなる原因は、ポリ乳酸の重合度が大きくなるためだと考えられる。

6 今後の課題

(1) 蛍光・吸収スペクトルを測定したい。蛍光・吸収スペクトルを測定すると波長が数値化される。それにより、蛍光の強さを客観的に示すことができる。また既存の蛍

光物質が蛍光の原因だった場合、推定することができる。既存の蛍光物質と一致しなかった場合、この蛍光が新発見の可能性が高まる。

(2) クロマトグラフィーを用いてポリ乳酸の正確な重合度を測定したい。それにより、ポリ乳酸の重合度が大きくなるにつれて、蛍光が強くなるという仮説を立証することができる。

7 参考文献

- 1) 改森道信(2002)新しい素材「ラクترون」(ポリ乳酸)について [ja \(jst.go.jp\)](http://ja.jst.go.jp)
- 2) PLA 樹脂 (ポリ乳酸) の特性と用途 加工と新素材の開発 (i-maker.jp)
- 3) [Shape memory Poly\(lactic acid\) binary blends with unusual fluorescence - ScienceDirect](https://doi.org/10.1016/j.polymer.2018.08.011)
- 4) π 共役高分子の電子・光機能とエレクトロニクス・光素子への応用 [ja \(jst.go.jp\)](http://ja.jst.go.jp)
- 5) 有機化合物の構造と色 [pdf \(jst.go.jp\)](http://ja.jst.go.jp)
- 6) ポリ乳酸の合成 [208-1-ポリ乳酸の合成 \(tym.ed.jp\)](http://tym.ed.jp)