

椿土中の微生物によるプラスチックの分解

宮城県仙台第三高等学校

現在日本では焼却によるゴミ処理が約8割であり、枯渇が懸念される化石燃料に頼りきりでは限界が来る。私達は廃プラスチックの新たな処理方法として微生物が利用できる考えた。本研究では椿の葉の表面にあるクチクラ層に、ポリエステルが持つエステル結合があることに注目し、椿土中の微生物を用いて、プラスチックの分解を試みた。微生物が椿の葉に何らかの影響を及ぼしていると考え、プラスチック片の断面を電子顕微鏡で観察したところ、材質が変化していた。このことから、微生物が何らかの方法でプラスチックを分解していたことが分かる。微生物によるプラスチック分解が効率化できれば化石燃料に頼らない脱炭素社会へ大きな一歩となるだろう。

1 背景・目的

現在の日本では焼却によるゴミの処理が全体の約8割を占めている。この割合は世界で最も高く、日本はそれだけゴミの量に対し莫大なエネルギーを使っていることになる。そのため我が国では、焼却後の熱回収に関する技術を進めてきた。しかし、枯渇するであろう化石燃料に頼った処理方法ではいつかは限界が来る。

そこで私達は新しいプラスチックの処理方法がないか考え、微生物の利用を思いついた。というのも先行研究において、松が生えている土壤中に存在する微生物を用いて、松の葉の表面の構造と似ているポリエチレンを分解したという結果があったからである。同研究の今後の課題としてポリエステルの分解が挙げられていた。椿の葉の表面を覆うクチクラ層の構造(fig.1)には、ポリエステルに特有の構造であるエステル結合がある。椿の葉、というより植物の葉は地面に落ちたあと何らかの土壌作用を経ていつか必ず分解される。つまり、エステル結合を持つクチクラ層、言えるならばポリエステルが分解されているのである。それならば、椿が生えている地表の土壌(椿土と呼ぶ)に住む微生物によってポリエステルを分解できるのではないかと考えた。

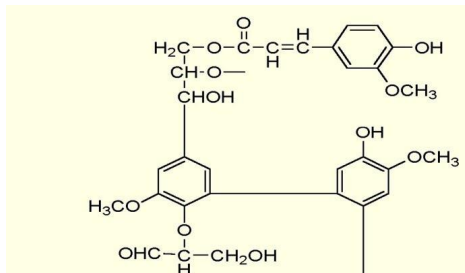


fig.1 椿のクチクラ層の構造

本研究の目標は日常で1番使われており、身近なプラスチックであるポリエステルを少ないエネルギーで化石燃料に頼らない、微生物により分解することである。研究に用いるポリエステルは言わずと知れたペットボトルの素材であるポリエチレンテレフタレート(PET)、スマートフォンのカバーフィルムなどに使われるポリエチレンナフタレート(PEN)である(fig.2)。

研究の流れは以下の通りである。まず、鶴ヶ谷中央公園から椿土を採取し、ダンゴムシなどの小動物を取り除き、半分をオートクレーブを用いて滅菌した(以下滅菌土と呼ぶ)。そしてシャーレに土を分け、プラスチック片(PET、PEN)のをせ、4ヶ月間観察し、質量変化を測定した。(実験1)しかし、この質量変化はとても小さく、微生物のみの力で葉が分解されるのか疑問に思ったため、椿の葉と、微生物が存在する椿土を用いて葉が分解されるのかについて2ヶ月間観察を行った。(実験2)この結果から土壌中で椿の葉がどのように分解されるのかについてダンゴムシを用いて実験を行い(実験3)、最終的に実験1に用いたプラスチック片を電子顕微鏡で観察した。(観察)

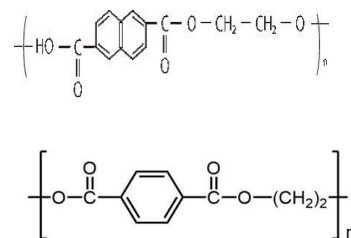


fig.2 上からポリエチレンテレフタレート(PET)、ポリエチレンナフタレート(PEN)の構造

以上のことから研究中出现してきた疑問も晴らすため本研究の目的は以下の2つとする。

- (1) ポリエステル(PET、PEN)を微生物によって分解が可能であることを明らかにすること
- (2) 椿の葉が土壌中でどのように分解されるのかを明らかにすること

2 材料と方法(実験1)

鶴ヶ谷中央公園から椿土を採取し、ふるいにかけてダンゴムシなどの小動物を取り除く。また、採取した土の半分をオートクレーブにかけて滅菌する。

椿土、滅菌土(共に土壌水分量30%)を入れたシャーレにそれぞれ超音波洗浄機を用いて洗浄したPET、PEN片(4cm×4cm)の傷をつけたも

の、傷をつけていないものそれぞれ4枚ずつ (fig.3)を、質量を測定した後、恒温器(30℃)に入れ、それと同じシャーレを4つずつ用意した。なお、傷をつけたプラスチックを滅菌土に入れるシャーレは用意しなかった。1ヶ月毎に1つのシャーレを取り出し、初期値との質量変化(mg)を少数第4位まで4ヶ月間計測。

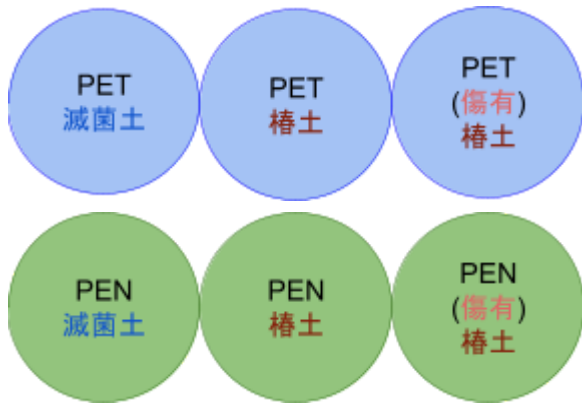
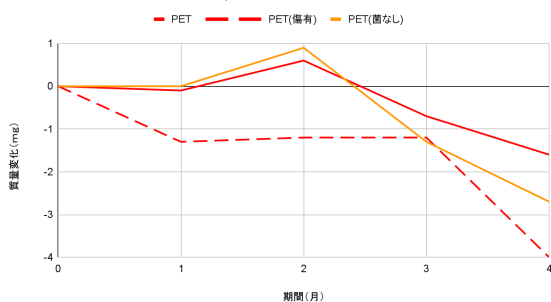


fig.3 実験に用いたシャーレの模式図

3 結果と考察 (実験1)

結果を以下に示す (fig.4)。質量が減少したサンプルもあったが、逆に増加したものもある。傷をつけたものも実験したのは、プラスチックの表面積を増やすことで微生物が分解しやすくなるだろうと考えてだったが、あまり大きな違いは見られなかった。なにによりまず滅菌土に入れたプラスチックの質量が減少してしまった。なにか複雑な原因があるかもしれないが、私達の実験の精度が低いせいだと考えられる。よって、このプラスチックの質量変化に微生物は関与していないと結論づけた。

質量変化と期間の関係 (PET)



質量変化と期間の関係 (PEN)

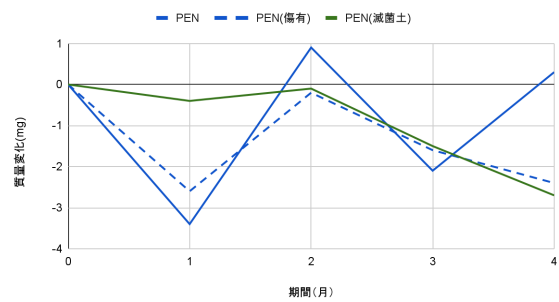


fig.4 実験1に用いたプラスチックの質量変化と期間の関係

滅菌土に入れたプラスチックの質量変化を表す線はそれぞれ他の色で示した。PET: (オレンジ色) PEN: 緑色)

4 材料と方法(実験2)

実験1を踏まえて、プラスチックになんの影響もなかったとすると、最初に立てた前提である、「椿は微生物によって分解される」というのが正しくないのかもしれないと考えた。よってまず微生物が椿の葉を分解するのかについて観察をした。

椿土、滅菌土にそれぞれ2枚ずつ椿の葉を入れ、2ヶ月間観察をする。

5 結果と考察(実験2)

結果は写真の通り、葉はただ枯れただけで見た目も何も変化せず、まったく分解されなかった。(fig.5)

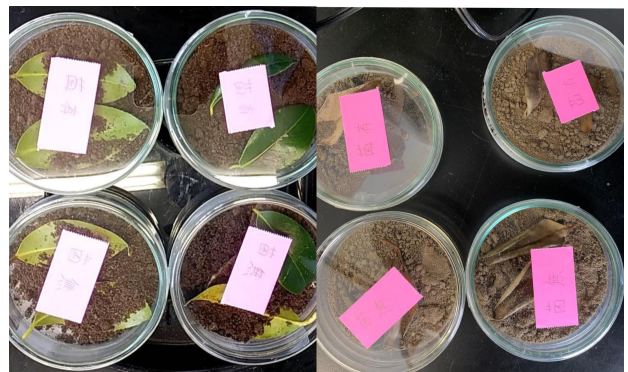


fig.5 椿土、滅菌土に椿の葉を入れたシャーレの写真(上の2つは椿土、下の2つは滅菌土 左: 実験前 右: 実験後)

6 仮説

つまり椿の葉は微生物の力のみでは分解されない。そして、何か別の要因が分解に関与していることがわかる。

7 材料と方法(実験3)

実験2で考察した分解の過程における別の要因というものを、土壌中の小動物であると考え、その中の代表格であるダンゴムシを、(2)で用いた枯れた椿の葉にそれぞれ入れ、2週間観察を行った。

8 結果と考察(実験3)



fig.6 実験2で用いたサンプルにダンゴムシを入れ、2週間放置したあとの写真(上2枚は椿土、下2枚は滅菌土)

椿土ではダンゴムシにより葉が分解されるが、滅菌土では全く葉は分解されないことがわかる。(fig.6)

この(2)(3)の結果から以下のことがわかる。

① 椿の葉は微生物とダンゴムシの両者が存在する状況下で分解される。(ダンゴムシ以外の小動物でも分解が行われる可能性は十分あるが、今回の実験では行えなかったため、記載しない。)

② 微生物とダンゴムシどちらかが欠けるだけで葉の分解は行われない。

③ 微生物が椿もしくはダンゴムシに何らかの作用を及ぼしている。

③に関して、論理が飛躍しすぎていると思われるかもしれないが、実験3において、ダンゴムシを入れた状況下で葉の分解が行われたのが微生物が存在する椿土だけであったことを考えると、微生物が椿の葉の表面に作用を及ぼしている、もしくは小動物による分解の補助をしていると考えられるだろう。

微生物が椿の表面に何らかの作用を及ぼしているのだとすると、実験2によりそれは見た目にはわからない程度の小さな影響だと予想できる。そこで私達はこの作用は椿のクチクラ層を分解することにあると考えた。こう考えれば、微生物はクチクラ層のエステル結合を分解していることになる。そして、微生物がプラスチックに何らかの作用を及ぼしていたという可能性が出てくる。また、その及ぼす影響が小さいのであれば、実験1でプラスチックの質量変化に現れなかったのにも説明がつく。

9 観察

(3)の考察が正しければ実験1で用いたプラスチックに何らかの影響が見られるかもしれない。そこで電子顕微鏡を用いて実験1に用いたPEN(4ヶ月後)の断面を観察した。(fig.7)

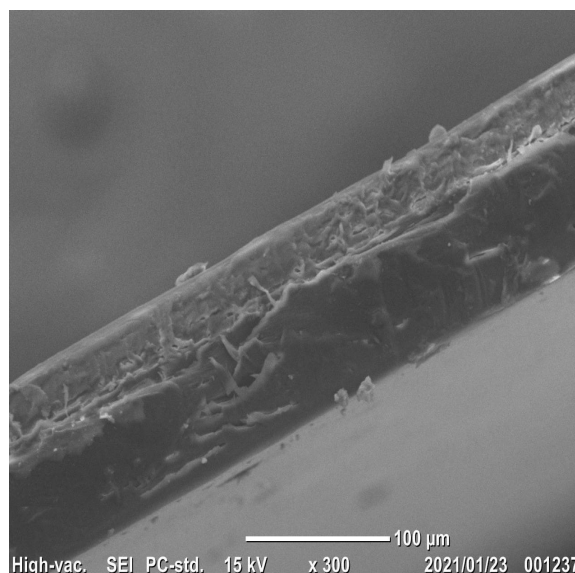
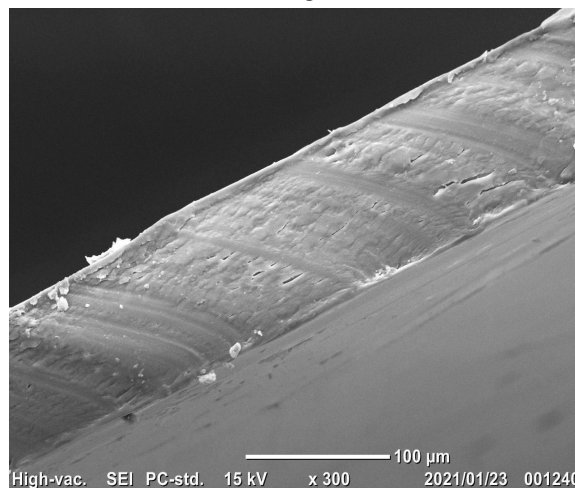


fig.7 PENの断面写真(上:実験に用いていないPEN 下:実験1に用いた4ヶ月後のPEN)

写真から見て取れるように、実験に用いていないPENの断面は裁断機で切ったため、きれいに整っているが、実験後のPENの断面は人工的ではないえぐられたようなあとが見られる。これにより微生物がPENの表面を溶かして分解していることがわかる。

10 まとめ

本研究で明らかにしたことは以下の2つである。

- (1) 椿土中の微生物によりPENが分解される。
- (2) 椿の葉は微生物とダンゴムシの両者が存在する状況下でのみ分解され、どちらかが欠けた状況下では分解されない。

11 展望

本研究では時間が足りずPETの断面を観察することができなかったためこれは展望とする。また、微生物によりプラスチックを分解できることを明らかにしたわけだが、質量にも見た目にもわからない程度のものであれば、実用化には程遠い。また、プラスチックを溶かして分解した微生物の名前、溶かす際に用いられた酵素などが特定できていないため、同様に展望とさせていただきます。

参考文献

仙台第三高等学校 56回生 課題研究「プラスチック分解」

松良俊明.2009 「ダンゴムシの葉の選択性を調べるための実験と観察」

<https://www.kyokyo-u.ac.jp/cee/17-9.pdf>