

(第41回山崎賞 児童・生徒の部優良賞)

# 救えプラスチックごみだらけの地球 パートⅣ

静岡大学教育学部附属浜松中学校

1年 落合晃馬

## 1 動機

2050年には、海の中の魚の重量を、海洋プラスチックごみの重量が超えると言われており、プラスチックごみを減らすために、僕に何ができるか調べたいと思った。

原油が存在する環境で生息している微生物であれば、石油から作られるプラスチックを分解できる可能性があるのではないかと考えた。

## 2 これまでの研究内容

### (1) 1年目

静岡県牧之原市にある相良油田(深谷の油田)の土壌を使用し、プラスチックや生分解性プラスチック等の分解実験を行った。その結果、公園や有機培養土を使用した時と比較し、油田の土壌を使用することで、プラスチックの分解が促進されることが確認できた。この結果より、油田の土壌にはプラスチック分解微生物が存在すると考えた。

### (2) 2年目

土の割合や液肥の添加効果など条件が異なる試験区を用意し実験を行い、微生物が最も活発に活動する条件を調べた。以下の3つのことが分かった。

ア 有機培養土を混合する場合、その量は油田の土より少ない方がよい。

イ 有機培養土にもプラスチック分解に関わる微生物が存在する可能性はあるが、油田の土壌を使用した方が効率的にプラスチックを分解できる。

ウ 液肥はプラスチック分解に関わる微生物を活性化するために必要ではない。

また、油田の土壌に生息する微生物の中から、プラスチックの分解に関与していると考えられ、廃エンジンオイルのある環境でも生育可能な微生物をプラスチックから単離し、K01株と名付けた。K01株のDNA塩基配列解析による簡易同定の結果、酵母の一種である *Rhodotorula toruloides* であることが判明した。

### (3) 3年目

2年目の研究で特定した酵母の一種である *R. toruloides* がどのような微生物なのか、*R. toruloides* を用いて油脂生産の研究を行っている大阪大学生物工学国際センター応用微生物学研究室と長岡技術科学大学技術科学イノベーション専攻 発酵科学研究室にメールで質問を送付し、調査を行った。調査の結果から、以下の2つのことが分かった。

ア *R. toruloides* K01株のように、プラスチック分解に関与している可能性がある微生物を特定する方法として、プラスチック分解に関わる酵素の遺伝子の配列を調べる方法がある。*R. toruloides* K01株が分解酵素の遺伝子を有していれば、分解能力がある可能性がある。

イ 微生物にプラスチックを分解させるには、酸素がある状態で、栄養源を枯渇させ、生きるためにプラスチックを分解させるような環境がよいと考える。

*R. toruloides* K01株を用い効率的にプラスチック分解をするには、土壌中に酸素がある状態で、土壌の栄養を枯渇させ、微生物が生きるためにプラスチックを分解させる環境をつくりだすことが必要と分かった。

3年目の研究では、*R. toruloides* K01株が相良油田の土壌固有の微生物なのかも調査した。2年目の研究で、*R. toruloides* K01株は油田の土壌に埋めた生分解性プラスチックから発見されたため、近隣の土壌からプラスチック片を採取し、採取したプラスチック片の懸濁液を寒天培地に培養し、単離を行った。その結果、K01株に類似する微生物は見つからず、さらに公園の土壌と相良油田の土壌を混合した環境でも確認されなかった。このことから、*R. toruloides* K01株は相良油田の環境、またはそれに似た環境でしか生存できないと考えた。

### 3 今回の研究目的

これまでの研究では、相良油田の土壌に生息する微生物を用いたプラスチック分解を行ってきたが、微生物が活発に活動する条件（酸素量・温度等）の設定が効率的なプラスチック分解には必要で、複数の微生物がプラスチック分解に関与している可能性もあるため、最適な分解条件を整えることは、難しいと考える。そこで今回は、自己分解プラスチックを製作し、土壌に戻した時に自己分解プラスチックの分解が進むかを調査する。

このアイデアは、2024年8月8日付の日本経済新聞の、カリフォルニア大学サンディエゴ校での自己分解プラスチック開発の記事を参考に発案した。自己分解プラスチックとは、プラスチックを分解する微生物を練り込んだプラスチックである。練り込まれた微生物は、使用時は休眠状態だが、使い終わり土壌に捨てると活動を開始し分解し始める。最終的にプラスチックが自然に還る仕組みである。

### 4 実験1

カゼインプラスチックの中に相良油田の土壌中に生息する微生物を練り込み、自己分解プラスチックを製作し、有機培養土に埋め、プラスチックが分解されるか実験を行った。

#### (1) 実験方法

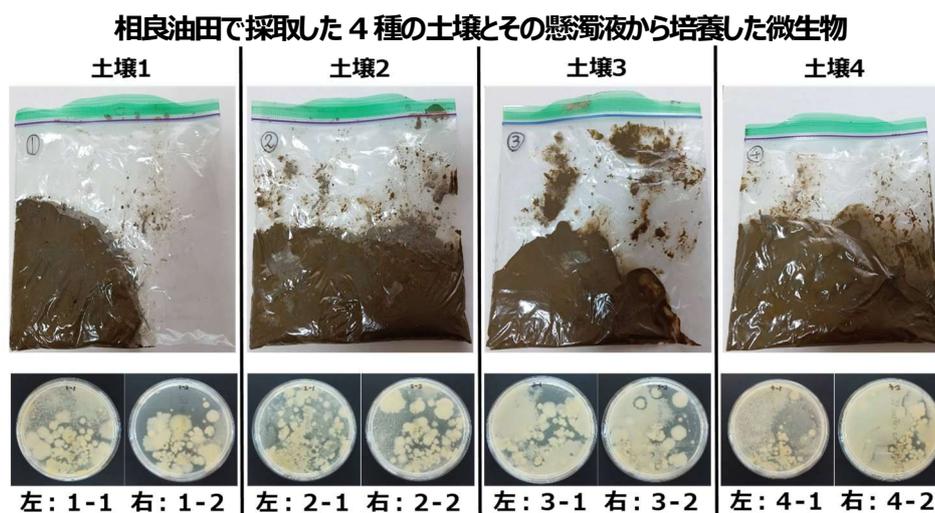
まず、カゼインプラスチックに練り込む相良油田の土壌中の微生物を培養する。

ア 相良油田で採取した4種の土壌と滅菌水をファルコンチューブに入れ、懸濁後、10分間放置する。

イ コンラージ棒を使用し、上清の懸濁液をSCD寒天培地に塗抹する。

ウ 懸濁液を塗抹したSCD寒天培地をまとめ、ラップで包む。

エ 直射日光が当たらない部屋(平均気温30°C)に置き、2日間培養する。



次に、自己分解プラスチック(微生物を練り込んだ、カゼインプラスチック)を製作する。

ア 沸騰した牛乳に110mlの酢を少しずつ入れながら、混合する。

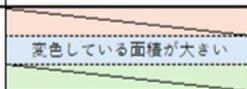
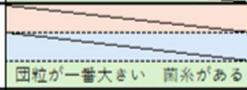
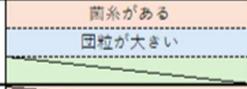
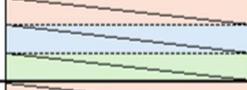
イ ガーゼで、アでできたカゼインプラスチック(固形物)をこしとる。

- ウ カゼインプラスチックをガーゼで包み、容器にためた水で洗う。
- エ カゼインプラスチックをガーゼから取り出し、キッチンペーパーで水気をとる。
- オ コンラージ棒でSCD寒天培地の菌をこすってかきとり、プレートの隅に菌を集める。
- カ 試験区を5個、試行数を3個用意するため、カゼインプラスチックを15等分する。  
試験区は以下の通り。  
コントロール：1、2、3  
土壌1：1、2、3 土壌2：1、2、3 土壌3：1、2、3 土壌4：1、2、3
- キ 集めた菌をスパーテルですくい、カゼインプラスチックと混合する。  
※菌は1-1、2-1、3-1、4-1のプレートのものを用いる。
- ク カゼインプラスチックを成形し、固まるまで乾燥させる。  
そして、自己分解プラスチックを有機培養土に埋める。
- ア 底に適当な大きさの不織布を敷いたものを、15枚用意する。
- イ 育苗ポットの半分くらいの深さまで有機培養土を入れ、自己分解プラスチックを置く。
- ウ 自己分解プラスチックの上から有機培養土をのせる。
- エ 1週間に1回、水をかけ乾燥を防ぎ、自己分解プラスチックに変化があるか確認する。

5 結果

自己分解プラスチック（カゼインプラスチック）の土中分解実験の結果、約1週間目から、クリーム色だった自己分解プラスチックが茶色に変色した。約3週間目から、重さが減り始め、自己分解プラスチックの周りの土が白くなった。2か月後には、より重さが減り、自己分解プラスチックの中でコントロールより薄く凹んでいる面があるものもあった。3か月後になると、青く変色し、自己分解プラスチックとコントロールで重さの平均値の差が大きくなった。約4か月後には、団粒が小さく少なくなったが全体的に重さが減り、小さい穴がある試験区も見られた。5か月後は、重さが増えた試験区が多くあり、土壌1の試験区の方がその他の試験区より、重さの平均値が低かった。

結果は下表に示す。

		約3週間後						特徴
		茶色に変色	カゼインプラスチックの周りの土が白い	団粒の有無	団粒の大きさ 大/小	重さ(g) ※開始時7g	重さの平均値 (g)	
コントロール	1	△	○	○	小	3.36	3.45	
	2	◎	○	○	小	3.64		
	3	○	○	○	小	3.34		
土壌①	1	○	○	○	小	3.00	3.31	
	2	○	○	○	小	3.47		
	3	△	○	◎	大	3.45		
土壌②	1	◎	◎	○	小	3.99	3.61	
	2	○	○	◎	大	3.52		
	3	×	○	○	小	3.32		
土壌③	1	○	○	○	大	3.61	3.62	
	2	○	○	○	小	3.68		
	3	×	○	○	小	3.56		
土壌④	1	◎	○	○	小	3.59	3.58	
	2	△	○	○	小	3.84		
	3	○	○	○	小	3.32		

		約2か月後					重さの平均値	特徴
		茶色に変色	カゼインプラスチックの 周りの土が白い	団粒の有無	団粒の大きさ 大/小	重さ(g) ※ 開始時7g		
コントロール	1	◎	×	○	大	3.00	2.63	
	2	○	×	◎	小	2.42		
	3	△	×	×		2.48		
土壌①	1	○	×	◎	小	2.30	2.44	薄い 虫が発生したため処分した
	2							
	3	×	×	◎	小	2.57		
土壌②	1	×	×	◎	小	2.88	2.61	薄い 香く変色 中央がへこんでいる
	2	×	×	×		2.12		
	3	×	×	◎	小	2.84		
土壌③	1	×	×	○	小	2.60	2.61	薄い 薄い 薄い
	2	△	×	○	小	2.57		
	3	△	×	◎	小	2.67		
土壌④	1	×	×	○	小	2.50	2.69	茶色の菌糸のようなもの 薄い 薄い 薄い
	2	×	×	×		2.57		
	3	△	×	×		3.00		

		約3か月後					重さの平均値 (g)	特徴
		茶色に変色	カゼインプラスチックの 周りの土が白い	団粒の有無	団粒の大きさ 大/小	重さ(g) ※ 開始時7g		
コントロール	1	○	×	○	大	2.99	2.55	香く変色 香く変色 香く変色
	2	○	×	◎	小	2.32		
	3	×	×	◎	小	2.34		
土壌①	1	◎	×	◎	小	2.21	2.30	面積が大きく薄い 虫が発生したため処分した 面積が大きく薄い
	2							
	3	△	×	◎	小	2.39		
土壌②	1	×	×	○	小	2.51	2.42	面積が大きく薄い 香く変色 中央がへこんでいる 香く変色
	2	×	×	○	小	1.97		
	3	○	×	◎	小	2.79		
土壌③	1	×	×	○	小	2.32	2.41	面積が大きく薄い 香く変色 面積が大きく薄い 香く変色 面積が大きく薄い
	2	×	×	○	大	2.43		
	3	○	×	○	小	2.49		
土壌④	1	○	×	○	小	2.27	2.49	面積が大きく薄い 面積が大きく薄い 面積が大きく薄い
	2	△	×	○	小	2.35		
	3	○	×	○	小	2.84		

		約4か月後					重さの平均値 (g)	特徴
		茶色に変色	カゼインプラスチックの 周りの土が白い	団粒の有無	団粒の大きさ 大/小	重さ(g) ※ 開始時7g		
コントロール	1	○	×	△	小	2.82	2.41	香く変色
	2	○	×	△	小	2.21		
	3	△	×	△	小	2.21		
土壌①	1						2.19	虫が発生したため処分した 虫が発生したため処分した 香く変色
	2							
	3	△	×	△	小	2.19		
土壌②	1	×	×	△	小	2.42	2.25	香く変色 中央が凹んでいる 香く変色 小さい穴がある
	2	×	×	×		1.73		
	3	○	×	△	小	2.59		
土壌③	1	×	×	△	小	2.18	2.28	小さい穴がある
	2	△	×	△	小	2.30		
	3	△	×	△	小	2.35		
土壌④	1	△	×	×		2.21	2.37	小さい穴がある
	2	×	×	×		2.18		
	3	△	×	×		2.71		

		約5か月後						特徴
		茶色に変色	カゼインプラスチックの 周りの土が白い	団粒の有無	団粒の大きさ 大/小	重さ(g) ※開始時7g	重さの平均値 (g)	
コントロール	1	◎	×	△	小	2.83	2.42	
	2	◎	×	△	小	2.22		
	3	○	×	△	小	2.22		
土壌①	1	◎	×	△	小	2.26	2.26	虫が発生したため処分した 虫が発生したため処分した
	2	◎	×	△	小	2.26		
	3	○	×	△	小	2.26		
土壌②	1	○	×	×	小	2.46	2.32	青く変色 中央が凹んでいる 青く変色 小さい穴がある
	2	○	×	○	小	1.84		
	3	○	×	○	小	2.65		
土壌③	1	○	×	○	小	2.18	2.31	
	2	○	×	○	小	2.35		
	3	○	×	○	小	2.40		
土壌④	1	○	×	○	小	2.22	2.39	青く変色 小さい穴がある
	2	○	×	○	小	2.19		
	3	◎	×	○	小	2.77		

## 6 考察

2か月後までは、自己分解プラスチックにおいて菌糸のようなものが見られたことから、自己分解プラスチックの方がコントロールより、土壤中の微生物が活発に活動していることが分かったが、自己分解プラスチックとコントロールの重さの平均値の差があまり見られなかった。3か月後からは、すべての試験区で青く変色した様子が見られ、自己分解プラスチックとコントロールの重さの平均値の差が現れた。このことから、菌糸のようなものを構成する微生物はあまり分解とは関係がなく、青く変色させた微生物が相良油田の微生物に加わることで分解が促進される可能性があるのではないかと考えた。

また土壌1では、虫（チャタテムシ）が発生した。土壌1の試験区の方がその他の試験より重さの平均値が低かった原因として、発生した虫が、自己分解プラスチックに付着したカビ、酵母やカゼイン（タンパク質）で構成された自己分解プラスチック自体を食べていた可能性があることが考えられる。

5か月後には重さが増えた試験区が多く見られた。重さが増えた原因として、以下のことが考えられた。

(1) 自己分解プラスチックに付着するカビが増えた。

(2) 分解が進んだことで自己分解プラスチックの内部に空間ができ水分などの物質がたまっている。

どちらの原因からも微生物の活動が活発化していたり、分解が進んでいたりが分かった。



白い菌糸のようなもの



青く変色した試験区



土壌1に発生した虫

## 7 実験2

実験1では、カゼインプラスチックに相良油田の土壌の懸濁液から培養した菌を練り込み自己分解プラスチックとし分解実験を行った。実験2では、自由樹脂（ポリカプロラクトン）に相良油田の土壌の懸濁液から培養した菌を練り込み自己分解プラスチックとし、有機培養土に埋め分解実験を行う。

(1) 実験方法

ア コンラージ棒でSCD寒天培地の菌をこすってかきとり、プレートに菌を集める。

※菌は実験1で培養したプレートの1-2、2-2、3-2、4-2のものを用いる。

イ 自由樹脂を柔らかくし、試験区を5個、試験数を2個用意するため10等分する。  
試験区は以下の通り。

コントロール：1、2 土壌1：1、2 土壌2：1、2 土壌3：1、2 土壌4：1、2

エ 集めた菌をスパーテルですくい練り込み、自由樹脂を成形する。固まるまで冷ます。

オ 育苗ポットの半分くらいの深さまで有機培養土を入れ、自己分解プラスチックを置く。

カ 自己分解プラスチックの上から有機培養土をのせる。

キ 1週間に1回、水をかけ乾燥を防ぎ、自己分解プラスチックに変化があるか確認する。

## 8 結果

自己分解プラスチック（自由樹脂）の土中分解実験の結果、約1か月目から、団粒ができ、自己分解プラスチックに団粒が付着している試験区もあった。2か月後には、重さが減ったものが多くなった。3か月後になると、茶色や赤色に変色した試験区が見られた。4か月後には、団粒の大きさが小さくなり、表面に膜のようなものがはがれている様子が見られた試験区もあった。また、1か月間で減った重さが増えた。

結果は下表に示す。

		約1か月後						
		茶色に変色	自由樹脂の 周りの土が白い	団粒の有無	団粒の大きさ 大/小	重さ(g) ※開始時5g	重さの平均値 (g)	特徴
コントロール	1	×	×	×	大	5.00	5.00	
	2	×	×	○	大	4.99		
土壌①	1	×	×	○	大	5.00	5.00	自由樹脂に団粒が付着していた
	2	×	×	○	大	5.00		
土壌②	1	×	×	◎	大	5.00	5.00	
	2	×	×	○	大	5.00		
土壌③	1	×	×	○	大	5.00	5.00	凹んでいる面があった
	2	×	×	○	大	4.99		
土壌④	1	×	×	○	大	5.00	5.00	
	2	×	×	○	大	5.00		

		約2か月後						
		茶色に変色	自由樹脂の 周りの土が白い	団粒の有無	団粒の大きさ 大/小	重さ(g) ※開始時5g	重さの平均値 (g)	特徴
コントロール	1	×	×	○	大	5.00	4.91	
	2	×	×	◎	大	4.82		
土壌①	1	○	×	◎	大	4.99	5.00	
	2	×	×	◎	大	5.00		
土壌②	1	×	×	◎	大	5.00	5.00	
	2	×	×	◎	大	5.00		
土壌③	1	×	×	◎	大	5.00	5.00	凹んでいる面があった
	2	×	×	○	小	4.99		
土壌④	1	×	×	○	小	4.88	4.94	
	2	×	×	○	小	5.00		

		約3か月後						特徴
		茶色に変色	自由樹脂の 周りの土が白い	団粒の有無	団粒の大きさ 大/小	重さ(g) ※開始時5g	重さの平均値 (g)	
コントロール	1	○	×	○	大	5.00	4.88	
	2	◎	×	○	大	4.75		
土壌①	1	△	×	○	大	4.86	4.93	
	2	○	×	○	大	5.00		
土壌②	1	○	×	○	大	5.00	5.00	赤く変色 
	2	△	×	○	大	4.99		
土壌③	1	◎	×	○	大	5.00	4.94	凹んでいる面がある 
	2	○	×	◎	小	4.87		
土壌④	1	○	×	○	小	4.83	4.92	凹んでいる面がある 
	2	○	×	○	小	5.00		

		約4か月後						特徴
		茶色に変色	自由樹脂の 周りの土が白い	団粒の有無	団粒の大きさ 大/小	重さ(g) ※開始時5g	重さの平均値 (g)	
コントロール	1	◎	×	○	小	5.00	4.65	赤く変色 
	2	△	×	◎	大	4.30		
土壌①	1	○	×	◎	大	4.68	4.84	
	2	○	×	○	小	5.00		
土壌②	1	△	×	○	小	5.00	5.00	赤く変色 赤く変色 
	2	△	×	○	小	4.99		
土壌③	1	△	×	○	小	5.00	4.88	膜のようなものがはがれていた 赤く変色 
	2	△	×	◎	小	4.75		
土壌④	1	○	×	○	小	4.76	4.88	
	2	△	×	○	小	5.00		

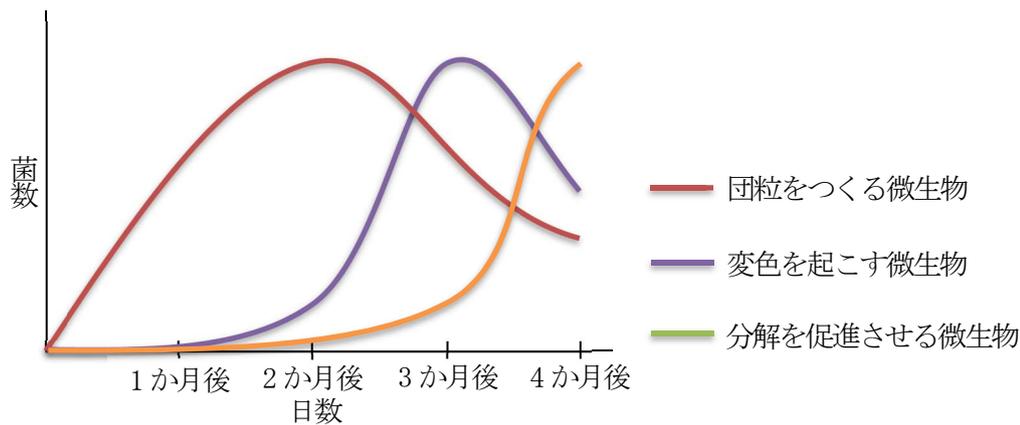
## 9 考察

コントロール1は重さの変化がなかったが、コントロール2は自己分解プラスチックと比べても重さが減っていた。コントロール1では、団粒の有無や大きさなどの変化があまり見られなかったことから微生物の活動があまり活発ではなく重さが増えなかったのではないかと考えた。コントロール2では、団粒の有無や大きさ、変色するなどの変化が見られたことから微生物の活動が活発で重さが増ったのではないかと考えた。

実験2では、上記のコントロールの試験区のように、同じ試験区でも重さが増えないものと減っているものがあり、結果が不規則だった。その原因として、実験に用いた有機培養土中の微生物に偏りがあったことが考えられる。今回の実験に用いた有機培養土は市販のもので、有機培養土に含まれる落ち葉や糞などの成分が均一に混合されていなかったため、土中の微生物に偏りが発生した可能性がある。

下記のイメージ図1のように、結果から、1か月後、2か月後は団粒をつくる微生物が、3か月後は変色を起こす微生物が、4か月後は分解を促進させる微生物が菌数を増やし活発に活動していて、土中の環境が変化することでその環境に対応できる微生物や活発に活動する微生物も変化するのではないかと考える。

イメージ図1



## 10 まとめ

従来の相良油田の土壤にプラスチックを埋め分解実験を行う方法は、環境整備が大変で微生物が活発に活動できる環境を保つことが難しかったことから、実験1、2プラスチックに相良油田の微生物を練り込み自己分解プラスチックを作成して分解実験を行った。しかし、実験2では規則的な結果が得られなかった。何らかの原因で練り込んだ微生物が休眠状態から活動を開始できなかったのではないかと考えた。反対に、実験1ではコントロールより相良油田の微生物を練り込んだものの方が重さが減るなど変化が見られた。練り込んだ微生物が休眠状態から活動を始めたのではないかと考えた。このことから、相良油田の微生物とプラスチックには相性があることが考えられる。今後の実験では、相良油田の微生物とプラスチックとの良い相性やよりプラスチック分解に適した土中環境を求めていきたい。

今後の展望として、以下のような実験を行い、プラスチック分解に関わる微生物に迫っていきたい。

- (1) カゼインプラスチックと似た組成の石油由来のプラスチックを調査し、それを用いた分解実験。
- (2) 自由樹脂とカゼインプラスチックで自己分解プラスチックを製作した、実験2と同様の実験。

## 11 感想

実験1、2の結果で、自己分解プラスチックの方がコントロールより団粒ができたり、菌糸のようなものが多くできたりして、土中の微生物が活発だったことから、有機培養土に相良油田の微生物を加えることにより土壤全体の菌叢が変化し活性化することが分かった。このことを利用して、農業の分野などでも土壤に相良油田の微生物を加え活性化させ応用することで役立てることができるのではないかと考えた。

実験2では、予想とは違う規則性のない結果になってしまったが、次の実験につながる疑問やアイデアを得ることができたことから、次の実験に生かし、この奥深い生物をこれからも研究していきたい。

## 12 参考文献

- (1) 題名 極限環境の生き物たち —なぜそこに棲んでいるのか—  
著者 大森 泰郎  
発行者 片岡 巖  
発行所 株式会社技術評論会  
印刷/製本 港北出版印刷株式会社