

生分解性プラスチックの合成および分解に関する教材研究

島田 秀昭・桑田 康平*

Studies on the synthesis and degradation of biodegradable plastic

Hideaki Shimada and Kohei Kuwata

(Received September 30, 2020)

A biodegradable plastic is a plastic that has the same properties and functions as conventional plastics, and is biodegraded by microorganisms existing in nature after use, and finally decomposed into water and carbon dioxide. In the present study, to obtain the suitable conditions for the synthesis of casein plastic using milk and grain vinegar, we examined the mixing ratio of milk and grain vinegar, and reaction temperature. The types of soil that can efficiently decompose the synthesized casein plastic were also investigated.

Key words: biodegradable plastic, casein, synthesis, degradation, teaching material

はじめに

中学校理科では、「科学技術と人間」について学習する¹⁾。本単元の項目である「様々な物質とその利用」では、「物質に関する観察、実験などを通して、日常生活や社会では、様々な物質が幅広く利用されていることを理解するとともに、物質の有効な利用が大切であることを認識すること」と記されている¹⁾。内容の取り扱いとして、プラスチックの性質にも触れることとされており、ここで生分解性プラスチックを教材として取り扱うことは、本単元の次の項目である「自然環境の保全と科学技術の利用」にも繋がることから、効率的に学習を進めることができるものと考えられる。

生分解性プラスチックとは、従来のプラスチックと同様の性状と機能を有し、使用後は自然界に存在する微生物などの働きで生分解され、最終的には水と二酸化炭素に分解されるプラスチックの総称であり、ポリ乳酸、ポリグリコール酸、ポリブチレンサクシネート系などがある²⁾。

中学校「理科」の教科書では、ポリ乳酸の分解の様子が紹介されている^{3,4)}。また、高等学校化学の教科書では、「高分子化合物の性質と利用」の単元において生分解性プラスチックは機能性高分子の一つとして取り上げられており、その例としてポリ乳酸が紹介されている^{5,9)}。

生分解性プラスチックの合成および分解に関する教材として、納豆、カゼイン、ポリ乳酸を用いて生分解性プラスチックを合成し、それらの分解の様子を観察する実験¹⁰⁾や、ポリ乳酸で合成した生分解性プラスチックを土に埋め、他のプラスチックとの分解の違いを観察する実験¹¹⁾などが報告されている。しかし、教科書等で紹介されているポリ乳酸は比較的高価であり、また中学生には馴染みの薄いものであると思われる。

そこで本研究では、身近な食品を用いた生分解性プラスチックの合成および分解に関する実験教材の開発を目的として、牛乳を用いたカゼイン樹脂の合成条件について検討した。また、各種乳製品を用いてカゼイン樹脂を合成し、最も効率よくカゼイン樹脂を生成する乳製品についても検討した。さらに、各種土壌を用いて、合成したカゼイン樹脂の分解の様子を比較検討し、カゼイン樹脂を効率良く分解できる土壌の選出を行った。

実験方法

1. カゼイン樹脂の合成に及ぼす穀物酢量の影響

300 mL ビーカーに牛乳 50 mL を入れ、ガスバーナーで沸騰するまで加熱した。牛乳が沸騰したところでガスバーナーの火を消し、穀物酢 2.5, 5.0 または 10.0 mL を加えてガラス棒で攪拌した。反応終了後、カゼイン樹脂をガーゼで濾取し、キッチンペーパーで水分

*熊本大学教育学部

を除き形成した後、風乾した。カゼイン樹脂の質量変化を合成直後から5日後まで測定した。

実験は3回ずつ行い、データは平均 ± 標準偏差で示した。

2. カゼイン樹脂の合成における反応温度の影響

300 mL ビーカーに牛乳50 mLを入れ、ガスバーナーで30, 40, 50, 60, 70, 80または90℃に加熱した。それぞれの温度になったところでガスバーナーの火を消し、穀物酢5.0 mLを加えてガラス棒で攪拌した。反応終了後、カゼイン樹脂をガーゼで濾取し、キッチンペーパーで水分を除き形成した後、1日風乾した。その後、カゼイン樹脂の質量および状態を比較した。

3. カゼイン樹脂の合成における乳製品の種類の検討

300 mL ビーカーに各種乳製品（牛乳、特濃牛乳、成分調整牛乳、低脂肪牛乳、無脂肪牛乳、乳飲料、コーヒー牛乳、無調整豆乳、調整豆乳）50 mLを入れ、ガスバーナーで50℃に加熱した。50℃になったところでガスバーナーの火を消し、穀物酢5.0 mLを加えてガラス棒で攪拌した。反応終了後、カゼイン樹脂をガーゼで濾取し、キッチンペーパーで水分を除き形成した後、1日風乾した。その後、カゼイン樹脂の質量および状態を比較した。

4. 各種土壌におけるカゼイン樹脂の分解の検討

牛乳から合成したカゼイン樹脂を約1.00 g (2.0 x 2.0 cm) になるようカッターで切り取り、各種土壌（培養土、牛堆肥、赤土、ピートモス、畑の土、バーミキュライト、運動場の土および腐葉土）に埋めた。1および2週間後にカゼイン樹脂を土壌中から取り出し、水で洗浄した後1日風乾し、質量を測定した。

また、培養土を用いて同様に実験を行い、1, 2, 3, 4および5週間後にカゼイン樹脂を土壌中から取り出し、水で洗浄した後1日風乾し、質量を測定した。

実験は、各土壌に対してカゼイン樹脂を5個行い、データは平均 ± 標準偏差で示した。

結果と考察

1. カゼイン樹脂の合成に及ぼす穀物酢量の影響

牛乳の量を50 mLに固定し、穀物酢の量を2.5, 5および10 mLに変化させたときのカゼイン樹脂の合成について検討した。

すべての実験条件においてカゼイン樹脂の生成が確認された（図1）。しかし、沈殿を濾取した濾液の色が、穀物酢5および10 mLの場合では薄い黄色であったのに対し、穀物酢2.5 mLの場合では白色であった

（データ未掲載）。この原因として、穀物酢の量が2.5 mLでは牛乳中に含まれるカゼインとの反応が不完全だった可能性が考えられた。

カゼイン樹脂を5日間乾燥させたときの質量変化を表1に示す。合成1日後では、0日と比較してすべての実験条件において質量が約30%減少した。合成2日後では1日後と比較して、穀物酢が2.5 mLの場合では質量は約20%減少し、穀物酢が5および10 mLの場合では約10%減少した。合成3日後では2日後と比較して、穀物酢が2.5 mLの場合では質量は約10%減少し、穀物酢が5および10 mLの場合では約5%減少した。合成4日後以降では、すべての実験条件において質量の減少は僅かであった。

すべての実験条件において、カゼイン樹脂は1日間乾燥させると固くなり、プラスチックとして使用できる強度であった。

以上の結果から、カゼイン樹脂の合成条件として、牛乳50 mLに対して穀物酢5.0 mL用いれば十分であることがわかった。また、カゼイン樹脂は合成から1日経過すると十分な強度を示し、また3日経過後では水分が減少し質量が安定することがわかった。

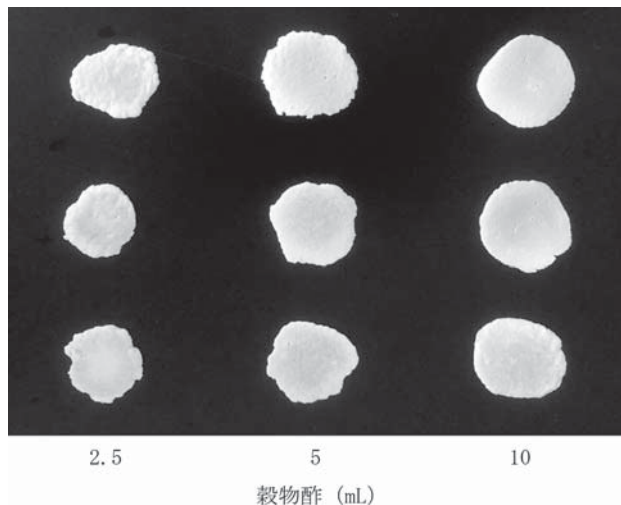


図1 カゼイン樹脂の合成に及ぼす穀物酢量の影響

表1 合成したカゼイン樹脂の質量変化

穀物酢 (mL)	カゼイン樹脂 (g)				
	0日	1日	2日	3日	5日
2.5	6.6 ± 0.3	4.6 ± 0.9	3.8 ± 0.8	3.5 ± 0.7	3.3 ± 0.6
5	7.7 ± 0.2	5.2 ± 0.1	4.5 ± 0.1	4.3 ± 0.1	4.1 ± 0.0
10	7.1 ± 0.1	5.0 ± 0.1	4.4 ± 0.0	4.2 ± 0.0	4.1 ± 0.0

2. カゼイン樹脂の合成における反応温度の影響

牛乳および穀物酢を用いてカゼイン樹脂を合成する際の最適な反応温度について検討した。

反応温度が30および40℃の場合では、白色の沈

殿は生成したが生成物に水分が多く、カゼイン樹脂を合成することはできなかった（データ未掲載）。また、このときの濾液の色は両方とも白色を示し、穀物酢と牛乳中に含まれるカゼインとの反応が不完全だった可能性が考えられた。

一方、50℃以上の場合では、いずれの温度においてもカゼイン樹脂の生成が確認され（図2）、7g前後の収量を得ることができた（データ未掲載）。

以上の結果から、牛乳 50 mL および穀物酢 5.0 mL を用いてカゼイン樹脂を合成する場合には、反応温度は 50℃ 以上で十分であることがわかった。

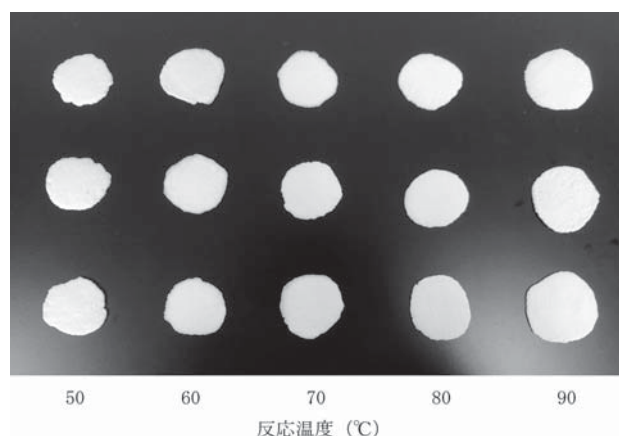


図2 カゼイン樹脂の合成に及ぼす反応温度の影響

3. カゼイン樹脂の合成における乳製品の種類の検討

次に、カゼイン樹脂の合成に適した乳製品を見出す目的で、9種類の乳製品を用いて検討した。各種乳製品に含まれるタンパク質含量（表示値）と合成したカゼイン樹脂の質量を表3に示す。

合成したカゼイン樹脂の収量が4g以上であったのは、牛乳、特濃牛乳、無調整豆乳および調整豆乳であった。牛乳中のタンパク質の約80%はカゼインであり、全体的にタンパク質が多く含まれる乳製品において多くのカゼイン樹脂が生成する傾向が見られた。しかし、特濃牛乳、無調整豆乳および調整豆乳では、カゼイン樹脂の収量は多かったが、これらの乳製品から合成したカゼイン樹脂は1日乾燥させると黄色を呈し、表面には多量の油状物質が付着しべたつきが見られた。この原因の一つとして、これらの乳製品には脂質が多く含まれていたためと考えられた。

一方、成分調整牛乳および無脂肪牛乳では牛乳とほぼ同程度のタンパク質が含まれているにもかかわらず、カゼイン樹脂の収量は約半分と少なかった。この原因については現段階では不明である。

以上の結果から、カゼイン樹脂の合成には牛乳が最適であると考えられた。

表2 各種乳製品から合成したカゼイン樹脂の質量

乳製品	タンパク質含量 (表示値 g/100mL)	カゼイン樹脂質量 (g)
牛乳	1.70	4.4 ± 0.1
特濃牛乳	2.05	5.8 ± 0.1
成分調整牛乳	1.68	2.5 ± 0.0
低脂肪牛乳	1.95	3.1 ± 0.1
無脂肪牛乳	1.83	2.5 ± 0.1
乳飲料	0.95	1.6 ± 0.1
コーヒー牛乳	0.58	1.4 ± 0.1
無調整豆乳	2.05	4.8 ± 0.1
調整豆乳	1.95	4.7 ± 0.2

4. 各種土壌におけるカゼイン樹脂の分解の検討

カゼイン樹脂を効率的に分解することができる土壌を見出すことを目的として、各種土壌中におけるカゼイン樹脂の分解について比較検討した。

合成したカゼイン樹脂を各種土壌中に埋めた後、1および2週間後に取り出し、カゼイン樹脂の質量を測定した（表3）。1週間後では、すべての土壌においてカゼイン樹脂の質量の顕著な減少は見られなかった。2週間後では、バーミキュライトを除くすべての土壌においてカゼイン樹脂の質量の減少が認められ、中でも培養土、牛堆肥、畑の土および腐葉土において減少の度合いが大きかった。

表3 カゼイン樹脂の分解に及ぼす各種土壌の影響

土壌	質量 (g)		
	0	1週間後	2週間後
培養土	0.98 ± 0.02	0.88 ± 0.04	0.64 ± 0.06
牛堆肥	0.99 ± 0.01	0.93 ± 0.04	0.70 ± 0.04
赤土	0.99 ± 0.02	0.92 ± 0.03	0.77 ± 0.01
ピートモス	1.00 ± 0.02	0.95 ± 0.02	0.84 ± 0.02
畑の土	0.99 ± 0.02	0.93 ± 0.05	0.64 ± 0.06
バーミキュライト	1.01 ± 0.01	1.02 ± 0.02	0.99 ± 0.03
運動場の土	0.99 ± 0.02	0.97 ± 0.06	0.77 ± 0.07
腐葉土	1.00 ± 0.02	0.91 ± 0.02	0.65 ± 0.04

以上の結果から、今回用いた土壌の中では、培養土、牛堆肥、畑の土および腐葉土が最も効率的にカゼイン樹脂を分解することがわかった。このように効率的にカゼイン樹脂の分解が見られた土壌中には、多くの微生物が存在しているものと思われた。これらの土壌の中で教材として用いる場合には、培養土が安定して入手することができ、安価であることから最も適していると考えられた。

そこで次に、カゼイン樹脂を培養土に埋めた後、1週間後から5週間後までの質量変化とその状態につ

いてさらに検討を加えた。カゼイン樹脂の質量変化を表4に示す。カゼイン樹脂の質量は、1週間後では約10%減少し、2週間後では約30%減少した。さらに3週間後になると約40%減少し、4週間後では約50%にまで減少した。

そのときのカゼイン樹脂の状態を図3に示す。1週間後では、カゼイン樹脂のサイズは若干小さくなり、僅かに丸みを帯びていた。しかし、2週間後では、色は焦げ茶色に変色してサイズは減少し、中には割れているものもあった。3週間以降ではこの度合いはさらに大きくなって行った。

表4 カゼイン樹脂の分解に及ぼす培養土の影響

期間 (週)	質量 (g)	
	実験前	実験後
1	1.00 ± 0.03	0.87 ± 0.06
2	1.00 ± 0.03	0.71 ± 0.08
3	0.99 ± 0.02	0.61 ± 0.08
4	0.98 ± 0.03	0.52 ± 0.06
5	1.00 ± 0.02	0.46 ± 0.07

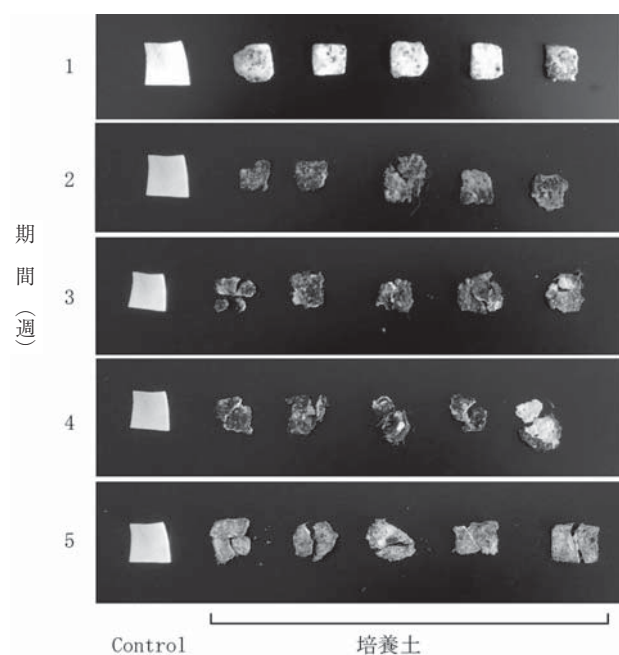


図3 カゼイン樹脂の分解に及ぼす培養土の影響

以上の結果から、培養土を用いてカゼイン樹脂の分解を行う場合、2週間で視覚的にも質量の減少の度合いからもカゼイン樹脂の分解を実感することができるものと考えられた。

おわりに

本実験は11月から12月の比較的気温の低い時期に行ったものであり、夏場と比較して土壤中微生物の活性が低かったと考えられる。今後、気温が高い時期に同様の分解実験を行い、分解期間についてさらに検討する必要がある。

参考文献

- 1) 文部科学省：中学校学習指導要領解説－理科編－，学校図書，pp. 66-68, 2018.
- 2) 百地正憲. 生分解性プラスチックの現状と課題. 日本バイオプラスチック協会, 2016.
http://www.env.go.jp/water/marine_litter/09_MOMOCHI.pdf
- 3) 塚田 捷 他. 未来へ広がるサイエンス 3, 2016, 啓林館.
- 4) 霜田光一 他. 中学校科学 3, 2016, 学校図書.
- 5) 齋藤 烈 他. 化学, 2013, 啓林館.
- 6) 井口洋夫 他. 化学, 2013, 実教出版.
- 7) 竹内敬人 他. 化学, 2013, 東京書籍.
- 8) 辰巳 敬 他. 化学, 2013, 数研出版.
- 9) 山内 薫 他. 高等学校化学, 2013, 第一学習社.
- 10) 長野工業高等学校. 生分解性プラスチックの制作とその分解のプロセスの研究. 長野県学校科学教育奨励基金研究結果報告, 2011.
<https://sbc21.co.jp/corporate/shorei/2010/16.pdf>
- 11) 土谷 紘子. ポリ乳酸の合成及び分解に関する教材研究. 平成 28 年度熊本大学教育学部卒業研究報告, 2017.