

2025 年度 研究活動報告書

1 背景

現在、脱炭素社会の実現に向け、化学合成品を生物由来の製品へ代替する「バイオものづくり」が注目されています。これは産業構造を根本から変え得る重要な潮流であり、地域資源の有効活用という視点からも大きな可能性を有しています。一方で、富山県魚津市は豊かな農林水産資源を有し、その過程で多様な未利用資源や廃棄物が生じているにもかかわらず、これらをバイオ技術へ展開する取り組みは十分に進んでいないのが現状です。

そこで本研究では、魚津市の未利用資源を原料とした「徐放性材料」の開発を目的としました。成分を緩やかに放出するこの素材は、特に農業分野における肥料の効率化への応用を検討しています。肥料成分の流出を抑え、環境負荷を低減する可能性を探ることは、持続可能な農業への重要なアプローチになると考えたからです。

地元の工業高校生がこの課題に取り組むことは、最先端技術を学ぶとともに、郷土の資源に新たな価値を見出す意義があります。本研究を通じ、産官学が連携したバイオものづくりの可能性を追求し、地域資源を基盤とした循環型社会の実現に貢献することを目指します。

2 目的

本研究では、環境保全と地域活性の背景から、地域で採れた廃棄食材などを利活用するためそれらに含まれる成分を工業材料とすることを目的として検討を進めている。

3 活動の内容

3.1 出前講義

①日時：令和7年8月21日（木）13時00分～16時00分

場所：富山県立魚津工業高等学校

講義題目：「食品分析についてーGC・MSの活用ー」

講師：磯野 昌明先生

（サーモフィッシャーサイエンティフィック株式会社）

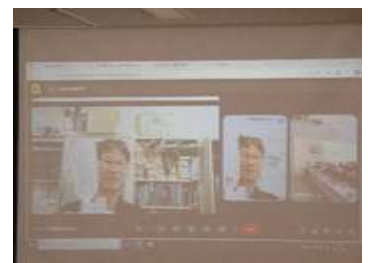
②日時：令和7年11月8日（土）10時00分～12時00分

場所：富山県立魚津工業高等学校

講義題目：「南極から探る地球環境」（オンライン講演）

講師：准教授 小林 拓先生

（山梨大学大学院総合研究部生命環境学部環境科学科）



3.2 見学ー施設見学、現場見学ー

①日時：令和7年8月25日（月）

場所：富山県環境科学センター

見学の目的：実際にフィールドワークを行い、環境調査とその分析手法について学ぶため。



②日時：令和7年10月19日（日）

場所：第31回魚津環境フェスティバル

見学の目的：魚津市内で活動する団体の環境保全活動について意見交換し、環境保全活動を行うため。



3.3 その他の活動

①環境イベントへの出展

アースデイとやま 令和7年6月7日（土）

くろべフェア 令和7年9月20日（土）

環境分析を楽しく体験して、アート作品に加工するものづくり教室を開催した。幼児から大人まで多くの方にペーパークロマトグラフィーを体験していただいた。



②工業高校生によるデジタルものづくり教室

令和7年12月18日（木）

小学生へ「ものづくり」の楽しさを体験的に伝えることを目的に、シュレッターごみを再利用して再生紙を作成し、ペーパークロマトグラフィーとレーザー加工機でデザインしたカレンダー制作を行った。



4 研究成果

4.1 研究計画

- ① 徐放性材料の現状課題と地域資源の選定
- ② 架橋剤の検討
- ③ ゼラチンとグルタルアルデヒドの架橋反応
- ④ 架橋したゼラチン-グルタルアルデヒドの物性

4.2 実験操作

4.2.1 ゼラチン溶液の調製

ゼラチン（ナカライテスク）10 g と純水 90 mL を混合させ、10 wt%ゼラチン溶液を 100 mL 調製した。

4.2.2 グルタルアルデヒド溶液の調製

25%グルタルアルデヒド溶液（富士フイルム和光純薬）1.2 mL と純水 98.8 mL を混合し、0.3 wt%グルタルアルデヒド溶液 100 mL 調製した。同様に、グルタルアルデヒド溶液（25%濃度）12mL と純水 88 mL を混合し、3 wt%グルタルアルデヒド溶液 100 mL 調製した。

4.2.3 ゼラチンとグルタルアルデヒドの架橋反応

6 ウェルプレートに 10 wt%ゼラチン溶液とグルタルアルデヒド溶液を所定量添加し、ガラス棒で攪拌した。室温で 24hr 静置した。静置後、ゲルの外観と粘弾性測定から架橋状態を評価した。粘弾性測定は、Discovery Core Rheometer（TA インスツルメンツ）を使用した。治具は、20.0 mm パラレルプレートを用いて 25°C で測定した。

4.3 結果と考察

4.3.1 徐放性材料の現状課題と地域資源の選定

既存の被覆肥料によるマイクロプラスチック流出は深刻であると指摘されており、本研究では、魚津市の特産物である紅ズワイガニやウマヅラハギ等の未利用部位に



図1 ゼラチンと魚の繋がり

含まれるコラーゲンに着目した。熱水処理で得られるゼラチンは、高い成膜性と生分解性を有し、理想的な徐放性基材となり得る（図 1）。本研究の最終目標は地域資源からの抽出・利用にあるが、現在はその前段階として、市販試薬を用いたモデル実験による物性評価を実施している。抽出条件の最適化に先立ち、ゼラチン基材の放出制御能を化学的に解明することは、将来的な地域資源利活用における技術的基盤として不可欠である。このモデル実験の結果を基に、次段階で天然試料からの抽出および実用化検討へ移行する計画である。

4.3.2 架橋剤の検討

予備検討の結果、物理的架橋による結合は、化学物質を使用しない利点がある反面、強度や安定性が低く、長期の徐放には不十分であることが判明した。そこで、分子間に強固な共有結合を形成させる「化学的架橋」を採用することとした。架橋剤には、反応効率が非常に高く、強固な網目構造を構築できるグルタルアルデヒドを選定した。本剤はゼラチン分子内のリシン残基が持つアミノ基と反応し、シッフ塩基を形成することで分子間を結合させる。生体応用における毒性の懸念はあるが、本研究ではモデル実験として、まずは最大の架橋効率が得られる条件の解明を優先した。この知見を基盤とすることで、将来的に安全性の高い代替架橋剤を選定する際の比較基準（コントロール）を確立できると考察する。

4.3.3 Gel と GA の架橋反応

最適な架橋条件を特定するため、GA の濃度と混合比を変化させ検討を行った。図 2 は、10 wt% Gel 2mL で固定し、0.3 wt% の GA の添加量を変化させたものを示す。0.3 wt% の GA を用いた実験では、いずれの比率でも不完全な架橋に留まり、高粘度の液体、あるいは一部の沈殿に止まった。これは架橋剤の絶対量が不足し、三次元網目構造を維持するのに十分な結合数が得られなかったためと考えられる。

次に、GA 濃度 (a) 0.3 wt% と (b) 3 wt% 2 mL で固定した（図 3）。GA 濃度 (a) 0.3 wt% ではゲル化せず、(b) 3 wt% に高めた場合、全条件でゲル化を確認した。特に GA と Gel の比率が 3:1 の検体は、ガラス棒による貫通試験において最大の耐性を示し、最も強固な架橋構造が形成された。1:1 等の条件では保水性が高く強度が不足し、4:1 以上では相対的な架橋密度が低下し強度が減衰したと推察される。また、Gel 量の増加に伴い色が橙色から焦茶色へ深まったことは、反応点（アミノ基）の増加により架橋反応がより進行したことを示唆していると考えられる。以上の結果より、比率 3:1 を本研究の最適架橋条件と決定した。

4.3.4 架橋した Gel-GA の物性

次に、図 3 (b) の Gel-GA を用いて、粘弾性による物性評価を行った。試料は、図 4 のように直径 10 mm のディスク状に切り抜いた。粘弾性測定の結果を図 5 に示す。Gel と GA の混合比により、物性が劇的に変化することが示された。GA 未添加（1:0）が低粘度な液体状であるのに対し、添加系は全測定範囲で高い粘度を示し、最も緻密なネットワーク構造を有することが示唆された。

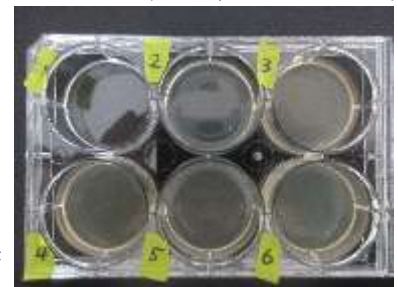
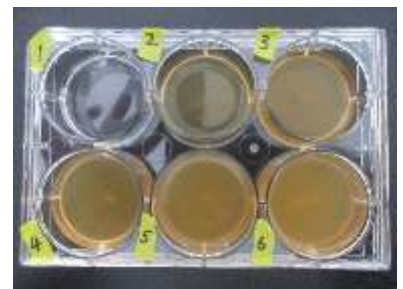


図 2 架橋反応後の様子

Gel : GA (mL : mL)

- ① 1:0 ② 1:1 ③ 1:2
④ 1:3 ⑤ 1:4 ⑥ 1:5

(a)



(b)

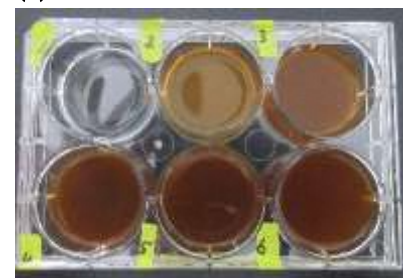


図 3 架橋反応後の様子

a : 0.3 wt% GA b : 3 wt% GA

Gel : GA (mL : mL)

- ① 0:1 ② 1:1 ③ 2:1
④ 3:1 ⑤ 4:1 ⑥ 5:1

特に比率 3:1（黄色）は、低せん断域で最大の粘度を示し、最も緻密なネットワーク構造を持つことが示唆された。今回は薬剤の内包実験に至らなかったが、この強固なネットワーク形成能力から、比率 3:1 の条件は薬剤を物理的に強く保持し、外部への拡散を抑制する高い徐放性能を発揮すると予想される。本研究で確立したこの架橋条件は、将来的な地域資源由来肥料の実用化に向けた重要な技術的基盤になると考察する。

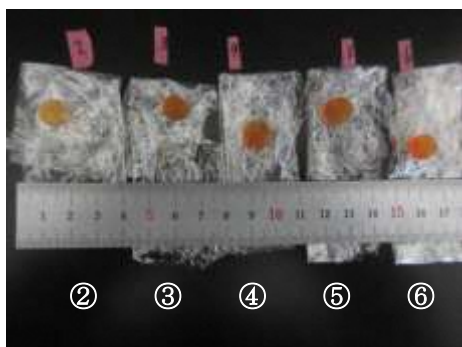


図 4 ディスク状に成型した試料

Gel : GA (mL : mL)

② 1:1 ③ 2:1 ④ 3:1 ⑤ 4:1 ⑥ 5:1

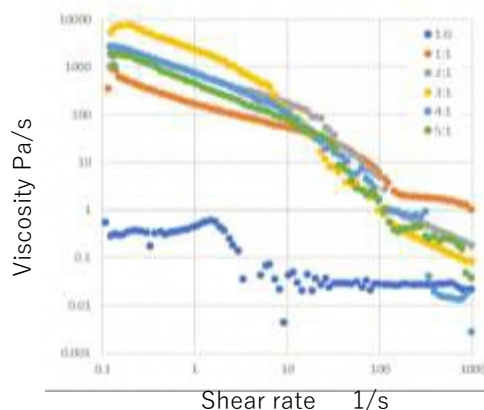


図 5 粘弾性測定

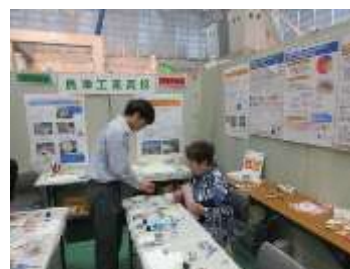
5 研究成果の発表

①日時：令和 7 年 10 月 19 日（土）10 時 00 分～16 時 00 分

発表の場：第 30 回魚津環境フェスティバル

発表題目：「地域資源を活用した研究」

発表形態：■口頭発表 ■ポスター発表 ■その他（ものづくり体験）



②日時：令和 7 年 11 月 8 日（土）10 時 00 分～12 時 00 分

発表の場：環境講演会 2025

発表題目：「環境科学部の環境保全活動について」

発表形態：■口頭発表 ■ポスター発表 □その他



6. 「環境安全とリスク」に関する意見と感想

本研究を通して、利便性と環境安全性の両立における難しさを学びました。被覆肥料のマイクロプラスチック問題に対し、生分解性の Gel は理想的な解決策ですが、強度補完のために用いた架橋剤の毒性は、新たな環境リスクとなり得ます。効果（徐放性）を追求しつつ、人や生態系への安全をいかに担保するかという、化学研究における多角的な視点の重要性を実感しました。今後は安全性の高い代替物質の検討など、リスク管理の意識をより高く持ち研究に励みたいです。

7. 今後の課題

本研究では、Gel と GA の架橋条件を検討し、特定の混合比において強固な構造が形成されることを粘弾性測定により明らかにした。今後は、この知見を基に「放出制御の評価」へ移行することが課題である。

具体的には、第一にモデル薬剤を内包したゲルの作製手法を確立し、水中での溶出挙動を定量的に測定することである。今回の粘弾性データで示された網目構造の強固さが、実際に分子の拡散をどの程度

抑制できるかを検証する必要がある。

第二に、架橋ゲルの安定性評価である。温度や pH の変化がゲルの構造に与える影響を調査し、より詳細な物性解明を目指す。これらの検討を通じ、将来的には地域資源から抽出したゼラチンへの応用を見据えた、基礎的な評価体系の構築を継続していきたい。

8. まとめ

本研究によって以下のことが明らかとなった。

- ① 最適架橋条件の特定 粘弾性測定と貫通試験により、Gel と GA の混合比 1:3 が最も強固なネットワーク構造を形成することを突き止めた。
- ② 徐放性能への期待 確立した緻密なネットワーク構造は、薬剤の拡散を抑制する「徐放性基材」として高い保持能力を持つことが期待される。
- ③ 今後の評価課題 今後はモデル薬剤の内包と溶出試験を行い、構造の強固さが放出制御に与える影響を定量的に検証することが課題である。