

動植物性油脂から合成された界面活性剤の洗浄力に関する研究

齊藤 美樹[†]、立山 愛莉[†]、川本 琴美[†]、山口 悟^{*†}

[†]茨城県日立第一高等学校 化学部 〒317-0063 茨城県日立市若葉町3-15-1

(2021年7月10日 受付; 2021年8月10日 受理)

Abstract

近年、SDGsを意識した商品開発が重要視されている。一般に販売されている合成洗剤は化石燃料を使ったものがほとんどであり、SDGsの観点からも化石燃料を使わない自然由来の洗剤を開発することが重要である。そこで本研究では、洗浄力の高い自然由来の洗剤を提案するために、身近にある様々な種類の動植物性油脂から界面活性剤を合成し洗浄力を評価した。8種の動植物性油脂由来の界面活性剤のCMCを評価することにより、界面活性剤を合成する際には油脂の平均分子量が大きく、油脂を構成する脂肪酸の種類が少ないことが重要であることがわかった。

Introduction

SDGsとは、Sustainable Development Goals “持続可能な開発目標”の略称で、2015年の9月の国連サミットで採択され国連加盟の193か国が2016年から2030年までの15年間で達成するために掲げた目標である¹⁾。現在、多くの企業や自治体がSDGsの取り組みを行っており、SDGsを意識したものづくりが必要とされている。

一般に販売されている合成洗剤は化石燃料を原料としているものがほとんどである²⁾。原料である化石燃料は採取可能な量が限られているので、やがては枯渇してしまうといった問題がある。さらに、化石燃料を原料としている合成洗剤は分解される際にCO₂を放出するため、地球温暖化に寄与するなど環境負荷が高い。化石燃料の1つである石油から合成されるアルキルベンゼンスルホン酸ナトリウムは、石鹼に比べ生分解性が低いため、環境に蓄積し、生態系に悪影響を及ぼすことも懸念される³⁾。

私たちの生活に最も身近な洗剤として石鹼があげられる。それは自然由来のものであるため、合成洗剤と比べ生分解性が高く環境に対する影響も小さい³⁾。一方、合成洗剤の製造および使用はSDGsの17の目標のうち特に3、7、13および14などの目標を満たしていない。したがって、SDGsの観点からも化石燃料に依存しない自然由来の洗剤を開発することが重要である。

そこで本研究では、洗浄力の高い自然由来の洗剤を提案するために、身近にある様々な種類の動植物性油脂から界面活性剤を合成し洗浄力を評価した。

Experimental

器具

100 mL ビーカー、ガラス棒、温度計、ホールピペット、ビュレット、電子天秤(メトラー・トレド PL602-S)、ホットプレートスターラー (AS ONE HS-5BHS)

試薬

エタノール(関東化学 鹿一級)、塩化ナトリウム(関東化学 特級)、水酸化ナトリウム(和光純薬 一級)

界面活性剤の合成

本研究において、植物性油脂としてアマニ油、オリーブ油、ゴマ油、菜種油、ヤシ油、動物性油脂として牛脂、鯨油、豚脂を用いた。8種類の動植物性油脂由来の界面活性剤の合成手順を以下に示した。

- (1) 動植物性油脂 5.0 mL を 100 mL ビーカーに取り 70°C 程度の湯浴で温めた。
- (2) エタノール 5.0 mL と 6.0 mol/L 水酸化ナトリウム水溶液 4.0 mL を(1)の溶液に加え、70°C で 15 分間攪拌した。
- (3) 塩化ナトリウム飽和水溶液 50 mL を(2)の溶液に加え、攪拌した。
- (4) (3)の溶液をろ過・乾燥させることで、界面活性剤が得られた。

表面張力“ γ ”の算出

文献4を参考にし、以下の手順で実験を行い、8種類の動植物性油脂から得られた界面活性剤の表面張力“ γ ”を算出した。

- (1) 40°C の 3.3×10^{-4} mol/L ~ 2.5×10^{-2} mol/L 濃度の界面活性剤水溶液を調製した。その水溶液 2.0 mL をビュレットに加え、すべて滴下するまでの水溶液の滴下数“ n ”を測定した。測定は5回行った。
- (2) 測定した n より、40°Cにおける水の表面張力“ γ_0 ”と蒸留水の滴下数“ n_0 ”から、式(1)を用いて、界面活性剤水溶液の表面張力“ γ ”を算出した。実験では低濃度の界面活性剤水溶液において n を測定したため、 ρ/ρ_0 の値を1と近似した。

$$\frac{\gamma}{\gamma_0} = \frac{n_0 \rho}{n \rho_0} \quad \dots (1)$$

* Corresponding author. e-mail address: ymgstr@***

*** =outlook.jp

ここで、 ρ および ρ_0 は界面活性剤水溶液および蒸留水の密度である。

- (3) γ の値が減少しなくなり、その値が一定となるまで実験を行った。

臨界ミセル濃度“CMC”の算出

ミセルとは、界面活性剤水溶液の濃度が臨界ミセル濃度“CMC”以上になると、親油基の部分の内側、親水基の部分を外側にして形成される集合体のことである。ミセルを形成する際に油汚れを取り込み、ミセルを形成することで洗浄作用が発揮される。したがって、CMCは界面活性剤の洗浄力の指標として取り扱うことができる。

図1に一例として、アマニ油から得られた界面活性剤水溶液の表面張力“ γ ”とその水溶液の濃度との関係を示した。図の横軸は界面活性剤水溶液の濃度、縦軸は表面張力 γ である。界面活性剤水溶液において、CMC

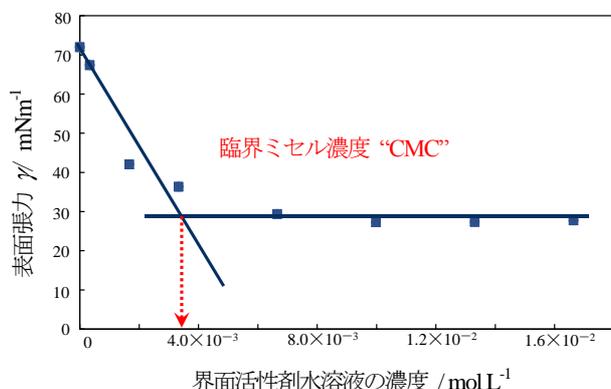


図1 アマニ油由来の界面活性剤水溶液の表面張力“ γ ”とその水溶液の濃度との関係

以上では界面が全て界面活性剤で覆われるため、 γ は減少しなくなり、一定値となる。図1に示したように、 γ を界面活性剤水溶液の濃度に対してプロットし、 γ の減少直線と γ の値が一定となった直線との交点における水溶液の濃度を界面活性剤のCMCとした。

Results and Discussion

図2に、8種類の動植物性油脂から得られた界面活性剤の臨界ミセル濃度CMCの実験値（黒丸●）および、動植物性油脂を構成する脂肪酸からできる脂肪酸ナトリウム“脂肪酸Na”のCMC⁵⁾の平均値から算出した界面活性剤のCMCの理論値（白丸○）を示した。図の横軸は動植物性油脂、縦軸はCMCを表している。図2から、CMCの実験値はヤシ油で極大値となる傾向を示すことがわかった。

この傾向を評価するために、油脂を構成する脂肪酸の組成比と脂肪酸Naの臨界ミセル濃度CMCから、式(2)を用い、各動植物性油脂由来の界面活性剤のCMCの理論値“ C_s ”を算出した。

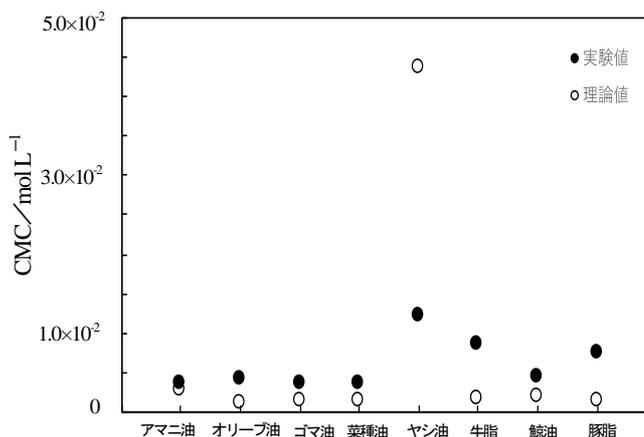


図2 動植物性油脂由来の界面活性剤の臨界ミセル濃度“CMC”の実験値（黒丸●）と理論値（白丸○）

$$C_s = \sum_{k=1}^n C_k R_k \cdots (2)$$

ここで C_k および R_k はそれぞれ、界面活性剤を構成する脂肪酸NaのCMCおよび脂肪酸の組成比を表している。

図2より、各油脂由来の界面活性剤のCMCの実験値と式(2)より得られた理論値は共に、ヤシ油で極大となる傾向を示すことが分かった。したがって、界面活性剤のCMCは油脂を構成する脂肪酸の組成と深く関係していることが示唆された。

図3に、8種類の油脂から得られた界面活性剤のCMCの実験値とそれら界面活性剤を構成する脂肪酸Naの組成を示した。図の横軸は動植物性油脂、縦軸はCMC、数値は界面活性剤の平均分子量を表している。図3より、5種類の植物性油脂において、ヤシ油由来の界面活性剤はCMCの実験値および理論値ともに他の4種類よりも大きな値を示すことが分かった。図3の円グラフからアマニ油、オリーブ油、ゴマ油および菜種油由来の界面活性剤は4、5種類の脂肪酸Naから構成されていることが示された。また、その組成から求めた界面活性剤の平均分子量は約300であった。一方、ヤシ油由来の界面活性剤は8種類の脂肪酸Naから構成され、平均分子量は235であった。ヤシ油由来の界面活性剤は構成する脂肪酸Naの種類が多く、小さな炭化水素基を持つ脂肪酸Naから構成されている。結果として、ヤシ油由来の界面活性剤は安定なミセルを形成し難く、そのCMCの値はその他4種類の値より大きくなると考えた。

動物性油脂3種類において、図2および図3に示したように、鯨油由来の界面活性剤のCMCの実験値は他の2種類と比べ、小さな値を示すことが分かった。図3の円グラフから牛脂、鯨油および豚脂由来の界面活性剤は8~10種類と3種類とも同じような数の脂肪酸Naから構成されていることがわかった。一方、組

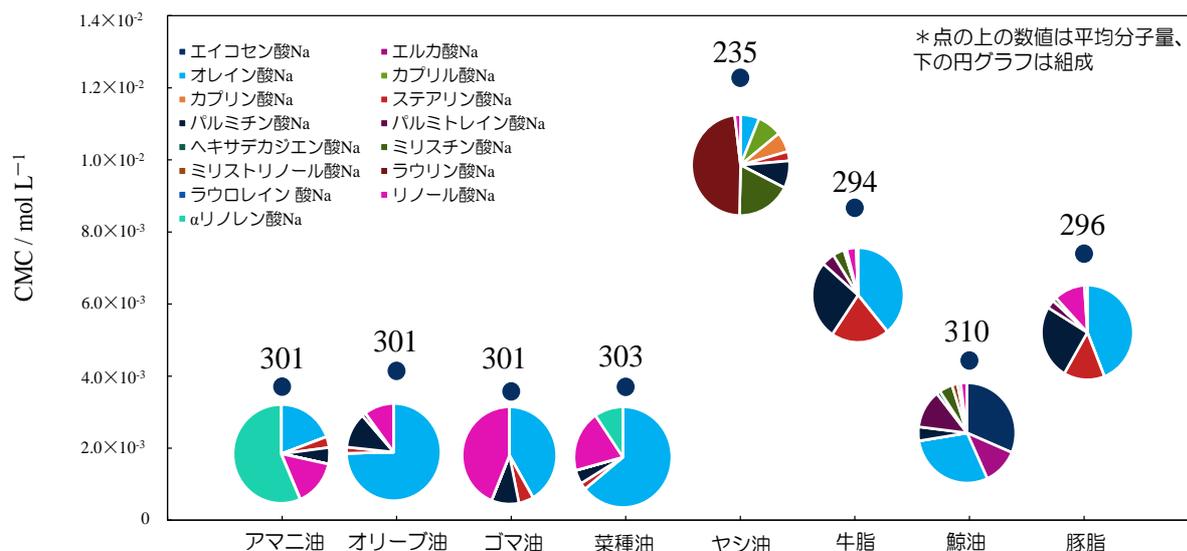


図3 CMCの実験値と界面活性剤を構成する脂肪酸ナトリウム“脂肪酸Na”の組成の比較

成から求めた牛脂、鯨油および豚脂由来の界面活性剤の平均分子量は294、310および296と鯨油が最も大きい値であった。したがって、鯨油は牛脂や豚脂と比べ、大きな炭化水素基を持つ脂肪酸Naから構成される。そのため、鯨油由来の界面活性剤は油との親和性が大きくなり、安定したミセルを形成しやすくなる。その結果として、鯨油由来の界面活性剤のCMCの値は牛脂や豚脂由来の界面活性剤の値と比べ、小さくなると考えた。

Conclusions

8種類の動植物性油脂由来の界面活性剤のCMCを評価することにより、天然油脂由来の界面活性剤を合成する際には、油脂の平均分子量は大きく、油脂を構成する脂肪酸の種類が少ないことが重要であることが分かった。本研究で用いた8種類の動植物性油脂においてCMCの値が小さいため、洗浄力が高いと予想されるものは、植物性ではゴマ油であり、動物性では鯨油であることが示唆された。

References

- 1) 国連開発計画 (UNDP) 駐日代表事務所：
<https://www.jp.undp.org/content/tokyo/ja/home/sustainable-development-goals.html>
- 2) スクエア最新図説化学, 第一学習社 (2019).
- 3) シャボン玉せっけん：
<https://www.shabon.com/message/index.html>
- 4) 小泉 勇樹, 山口 悟, *student chemistry* (2019), 1, 27-31.
- 5) Pirika の HP：<https://pirika.com/NewHP/PirikaE2/Surfactant.html> (2021年5月現在).

Acknowledgement

本研究を行うにあたり、株式会社 吉田総合テクノ吉田 幸治様から貴重な鯨油をご提供いただきました。心より感謝申し上げます。ありがとうございました。