

## ドジョウが分泌する粘液の回収と摩擦低減能の評価

田中 孝国<sup>1\*</sup>, 那須 裕規<sup>2</sup>, 秋元 純樹<sup>1</sup>, 酒井 洋<sup>1</sup>, 矢島 夏海<sup>1</sup>, 高屋 朋彰<sup>1</sup>,  
大岡 久子<sup>3</sup>, 桑原 敬司<sup>4</sup>

<sup>1</sup>小山工業高等専門学校 物質工学科 (〒323-0806 小山市中久喜 771)

\*tanakatakuni@oyama-ct.ac.jp

<sup>2</sup>小山工業高等専門学校 機械工学科 (〒323-0806 小山市中久喜 771)

<sup>3</sup>群馬工業高等専門学校 物質工学科 (〒371-8530 群馬県前橋市鳥羽町 580)

<sup>4</sup>長岡技術科学大学 生物機能工学専攻 (〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1)

## Evaluation of correction and friction reduction by loach mucus

Takakuni TANAKA, Yuki NASU, Yoshiki AKIMOTO, Hiroshi SAKAI, Natsumi YAJIMA,  
Tomoaki KOUYA, Hisako OOKA and Takashi KUWAHARA

National Institute of Technology, Oyama College  
(771 Nakakuki, Oyama City, Tochigi Prefecture 323-0806, JAPAN)

National Institute of Technology, Gunma College  
(580 Toriba, Maebashi, Gunma, 371-8530 Japan)

Nagaoka University of Technology, Department of Bioengineering  
(1603-1 Kamitomioka, Nagaoka, Niigata 940-2188, JAPAN)

(Received March 11, 2021; Accepted May 7, 2021)

The loach is a popular freshwater fish in Japan. Loaches release mucus that may directly pollute some aquatic fish. When a loach enters the mud, mucus defends the loach's body surface, providing lubricity. Loach mucus is effective against various types of friction. In this study, we tried to reduce the effect of friction using concentrated loach mucus. Now, analyzing test data, we measured the friction reduction effect of concentrated mucus. Water with mucus was collected three hours after breeding. The breeding water was concentrated using a rotary evaporator after semi-batch diafiltration (UF membrane, M.W. cutoff is more than 300,000). The friction coefficient is measured by the movement of coming and going (friction tester, TRIBOGEAR 14FW). Loach mucus reduced both the static friction coefficient and dynamical friction coefficients. It was suggested that the friction reduction ability of this mucus protected the body of the loach.

**Key words:** loach mucus / friction / viscosity

### 1. 背景

ドジョウ(泥鰌)は、日本国内の平野部の水田やその周辺に生息している日本の代表的な淡水魚である。ドジョウは

養殖技術が確立している食用生物であり、飼育中常に粘液を分泌し、水を汚すことが知られており、養殖であれば水のかけ流し、飼育であれば水の頻繁な交換やろ過が必要になる。この粘液は、ドジョウの体表面から分泌される物質

である[1]。

この粘液は、泥や砂の中で生活しているドジョウの体表面を泥や砂の摩擦で傷が付くのを防ぐこと、生体面同士が付着しあうのを防ぐ重要な役割があるとされている。この粘液には糖タンパク質が多く含まれ、ドジョウ、ウナギ、ヌタウナギ等のような鱗の退化した魚では粘液中の35~45%(乾燥重量)を占めると報告されている[1]。粘液を産する理由としては(特に鱗の退化した魚種では)、分泌された粘液が魚の体表を障壁として覆い、生体防御の役割を果たしていると考えられている[1,2]。ドジョウの粘液には糖タンパク質としてはムチン、その他、グリコシダーゼ、レクチン、凝集素、IgM、プロテアーゼ等も含有しているとされる[1]。現在この粘液は水和潤滑能と表現され、医学的・工業的、特に潤滑剤としての有用性が期待されている成分である[2]。この粘液を含む液体は、管を通る際に管の摩擦抵抗を減少させる効果(トムズ効果)を示すなどの報告[2]等が見られるが、ドジョウ粘液がドジョウ生体におよぼす潤滑作用に関する定量的な知見はない。

今回、ドジョウの粘液の摩擦抵抗を調査するため、粘液の回収・粗精製・濃縮を行い、表面性測定機による摩擦低減効果について評価試験を実施したので報告する。

## 2. 実験

### 2-1 研究に使用したドジョウの体長と飼育環境について

本研究では、栃木県内のウナギ料理専門店やスーパーで入手した市販の国産ドジョウを使用した。個体差による粘液排出量が異なることが予想されたため、体長7~8[cm]のドジョウを使用した。飼育温度はヒーター等により25[°C]に保ち、毎日飼育水の1/3程度の交換を実施した。飼育水は水道水1[L]に対し食塩1[g]、市販のカルキ抜き剤(GEX, うるおう水づくり)1[mL]を混合し生成した。食塩を加えることにより、病気にかからなくなる、寄生虫や細菌などから体を保護することができる効果があるとされる[3]。

### 2-2 ドジョウ飼育水の回収・濃縮

新鮮な飼育水 200 [mL] をポリプロピレン製のケース

(25×18×14 [cm]) に入れてドジョウ 1~10 匹を飼育水中に放ち遮光し3時間放置した。3時間後にドジョウを移し、飼育水を全て回収し1500[rpm]で20分間の遠心分離を行い、フン等の浮遊物除去を行った。続いて、粘性を示す物質を分子量数百万~数千万の糖タンパク質と仮定し[4]、その他の低分子物質を除去するため、細孔径3[μm]の分画分子量20万のポリサルフォン限外ろ過膜を用い、洗い出し(ダイアフィルトレーション[5])を実施した。ダイアフィルトレーションの操作条件は、200[rpm]で攪拌し、超純水1[L]で飼育水を洗浄した。洗浄後は、100[mL]まで液量を減少させた。そして、このドジョウ飼育水を36[°C]の恒温槽内で20[mL]までロータリーエバポレーターで減圧蒸留し、ドジョウ粘液の10倍濃縮液(以降、濃縮液)を得た。恒温槽を36[°C]にした理由は、ムチン精製時にムチンを構成するペプチド鎖や糖鎖の変性を考慮し35-45[°C]範囲で操作した報告があったためである[6]。

### 2-3 表面性測定機による静・動摩擦係数の測定

前報[7]と同様に、本研究でも表面性測定機(トライボギア TYPE:38, HEIDON 社)を用い、金属片(SS400)を用いた軸受け摩擦試験により、濃縮液 200 [μL] の静・動摩擦係数の測定を行った。摩擦鋼球はSUJ2(高炭素クロム軸受鋼鋼材、耐摩耗性試験に使用される、小山鋼材)を用いた。また、データの収集および解析には、トライボソフト 5.08(摩擦摩耗解析ソフト, HEIDON)を使用した。摩擦力は静摩擦・動摩擦と分けることができ、静摩擦力は静止物が動き出すまでの抵抗力、動摩擦力は動き出したあとの抵抗力のことである。静・動摩擦力の一般式は以下の(1)、(2)の通りである [8]。

$$\text{静摩擦} : F = \mu \times N \quad (1)$$

$$\text{動摩擦} : F' = \mu' \times N \quad (2)$$

ここでF[N]は静摩擦力、F' [N]は動摩擦力、μ[-]は静摩擦係数、μ' [-]は動摩擦係数、Nは垂直抗力[N]を示す[8]。測定条件は垂直力 200[g]、往復運動速度 3000[mm/min]、治具運動距離 20[mm]、往復回数 100 回とした。また、摩

擦試験時の相対湿度は 50-52 [%], 温度は 25-27 [°C]であった。

### 3. 実験結果および考察

図 1, 図 2 に、ドジョウの数と静・動摩擦係数の関連についてグラフを示した。図中の線は水のみを示す。両摩擦係数とも、水と比較すると水よりも小さい傾向を示し、濃縮液の摩擦低減効果が示唆された。一方で、標準偏差を考慮に入れると、水よりも摩擦低減効果が大きい部分が見られたこと、ドジョウの数が増えても両摩擦係数に影響が無いたことが判明した。その理由として、本実験では、ドジョウに粘液を積極的に分泌させる手法、例えば強磁場をかける[9]、飼育水を攪拌する[4]、などの手法を取っておらず、ドジョウが自然に分泌するのを待っている状態でサンプルリングを実施した。そのため、濃縮液中の粘液成分が全体的に少量であったことが考えられた。また、ダイアフィルトレーション操作で除去が出来なかった低分子物質の影響も考えられた。また、一般に静摩擦係数の方が動摩擦係数よりも大きいとされているが、本実験においてもその傾向は見られた。

続いて、表 1 に既存の無潤滑、潤滑剤(KURE5-56, 呉工業社)、切削油(AZ 水溶性切削オイルスプレーAZ009, エーゼット社)、ムチン 30 [g/L]の条件で摩擦試験を行った結果との比較データを示した。表 1 から潤滑剤、切削油、ムチンの静・動摩擦係数は今回の濃縮液の結果と比較すると、ドジョウが通常放出している粘液量は潤滑剤に近い値を示すことが判明した。また、ドジョウは刺激や障害物等が無くても粘液を分泌し、おそらく水中を泳ぐ際の推進効率向上を図っていることが示唆された。

ドジョウ粘液の示す摩擦低減効果は、境界潤滑状態や流体潤滑状態が考えられるが、現時点では成分分析が出来ていないため、ムチン溶液等を用いた実験を実施し、考察を進める予定である。

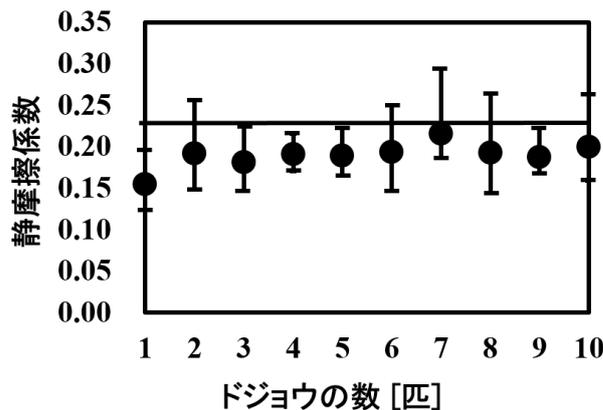


図 1 ドジョウ数と静摩擦係数の関係 (サンプル数=5)

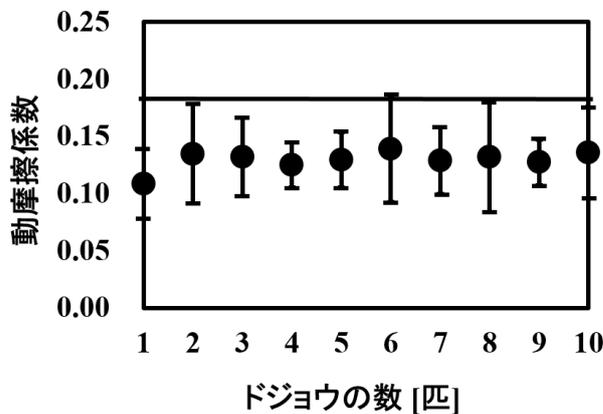


図 2 ドジョウ数と動摩擦係数の関係 (サンプル数=5)

表 1 摩擦係数データの比較  
(潤滑剤および切削油以外, サンプル数=5)

	静摩擦係数 [—]	動摩擦係数 [—]
無潤滑 [7]	0.31±0.01	0.14±0.01
潤滑剤(油) [7]	0.10	0.08
切削油[7]	0.09	0.07
水のみ[7]	0.23±0.01	0.17±0.01
ムチン 30 [g/L] [7]	0.06±0.006	0.10±0.0046
ドジョウ 1 匹	0.1546±0.047	0.108267±0.034
ドジョウ 10 匹	0.199333±0.0717	0.1356±0.045

#### 4. まとめ・今後の予定

本研究は、ドジョウ飼育水からドジョウの粘液を回収し、摩擦試験を実施することで、ドジョウ粘液の摩擦低減効果について試験を実施した。その結果、ドジョウ粘液は摩擦低減効果があり、潤滑剤に近い効果を示すことが判明した。今後、ドジョウの粘液成分の調査を行い、それらの成分が潤滑能に与える影響について調査する予定である。

#### 謝辞

本研究は、JSPS 科研費 20K04250 および R2 年度 高専一長岡技大共同研究助成金の助成を受けて実施されています。

#### 参考文献

[1] 浅川牧夫, 魚類体表面粘質物の生体防御における役割, ウナギシアル酸含有糖タンパク質の構造と機能, Nippon Suisan Gakkaishi, Vol.62, No.2, pp.291-292 (1996)

- [2] 池内健, 水和潤滑の研究と応用における今後の進歩への期待, トライボロジスト, Vol.52, No.8, pp.568-572 (2007)
- [3] 瀬野龍一郎 他, ウイルス性浮腫症罹患コイの死亡率に及ぼす 0.5%塩水浴の効果, 水産増殖, Vol.51, No.1, pp.123-124 (2003)
- [4] 印藤尚子 他, 魚体表面をモデルとした粘液壁面上の流れ特性, バイオエンジニアリング学術講演会・セミナー講演論文集, 2004.17, pp.165-166 (2005)
- [5] 松本幹治 他, バイオセパレーションにおける膜分離, 膜, Vol.21, No.1, pp.49-56 (1996)
- [6] JP3468557B2 ムチンの精製方法
- [7] 田中孝国 他, ムチン(糖タンパク質)による摩擦力低減効果の基礎検討およびムチン濃度の推定法の試み, J. Technology and Education, Vol.27, No.1, pp.15-19 (2020)
- [8] 村木正芳, 図解トライボロジー摩擦の科学と潤滑技術, 日刊工業新聞社, pp.8-9 (2012)
- [9] 池田哲夫, 定常強磁場の生体への影響, 日本ハイパーサーミア学会誌, Vol.10, No.1, pp.58-64 (1994)