

令和6年3月21日

## 令和5年度 学生自主研究成果報告書

教 育 本 部 長 様

学生自主研究グループ名	バイオメカニクス研究グループ	
研究課題名	生物組織のかたさを調べよう	
研究代表者 (学生)	学籍番号	B24M010
	氏 名	大澤 汰靖
指導教員	学 科	機械工学科
	氏 名	伊藤 一志

学生自主研究の報告書を別紙のとおり提出します。

## 生物組織のかたさを調べよう

システム科学技術学部 機械工学科

2年 大澤 汰靖

2年 小林 稜汰

2年 佐野 裕二

2年 高山 修平

指導教員 システム科学技術学部 機械工学科

准教授 伊藤 一志

## 1. はじめに

私たちは、機械工学科において力学的観点から現象の理解や材料の特徴を理解する大切さを学んでいる。そして、工業材料だけでなく生物試料の力学特性についても関心が高まったため、生物試料の硬さを評価する本研究の実施に至った。

## 2. 実験方法

## 2.1 ピペット吸引法の測定原理

ピペット吸引法は、ガラスピペットを試料表面に密着させた後、ガラス管内部を減圧する。その際に生じる試料の変形量から試料表面の力学特性を算出する方法である。試料の硬さと変形量  $L_p$  の関係は以下の式 (1) で表せる<sup>(1)</sup>。

$$\frac{\Delta P}{S} = \frac{2\pi L_p}{3\theta_p R_p} \quad (1)$$

ここで、 $\Delta P$  はガラス管内外の圧力差、 $S$  は試料の硬さ、 $\theta_p$  はガラス管による形状係数、 $R_p$  はガラス管内径の半径である。

## 2.2 測定方法

実験には市販の生食用スルメイカを用いた。図 1 に測定試料の模式図を示す。本研究では、スルメイカを切り分け、腕と外套膜を試料とした。さらに、腕と外套膜の外表面および断面をピペット吸引法により測定した。

測定には、研究室に設置されたピペット吸引装置を用いた。ピペット吸引装置は、光学顕微鏡、マイクロマニピュレータ (ナリシゲ)、ガラス管、真空ポンプ (アルバック)、高精度デジタル圧力計 (クローネ)、三角フラスコから構成されている。使用したガラス管の外径および内径はそれぞれ 1.0, 0.6 mm である。ガラス管内の圧力は真空ポンプおよび水頭差を用いて調整した。また、ガラス管内の圧力の変化にともなう試料の変形は光学顕微鏡に設置したカメラを用いて撮影した。

表 1 に各試料の測定におけるガラス管内の圧力を示す。スルメイカの外套膜および腕の外表面における測定では、圧力を 10 kPa から 60 kPa まで 10 kPa ずつ上昇させ、各圧力において 30 秒間保持した後、試料表面の画像を取得した (図 2)。その後、取得した画像から画像解析ソフト (ImageJ)

を用いて吸引前後における試料の変形量を測定し、硬さを算出した。また、外套膜および腕の断面における測定では、圧力を 0.2 kPa から 1.0 kPa まで 0.2 kPa ずつ上昇させた。測定では、腕および外套膜の外表面と断面をそれぞれ 4 回ずつ計測した。

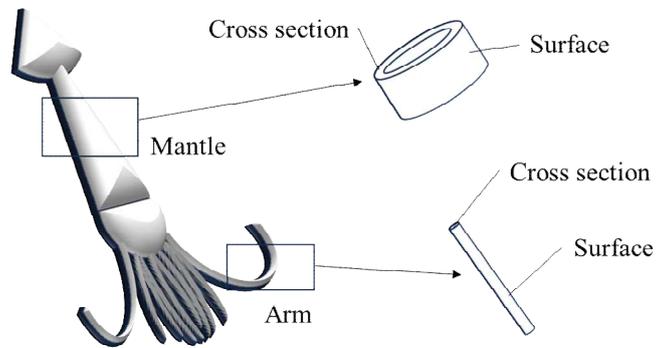


図 1 測定試料の模式図

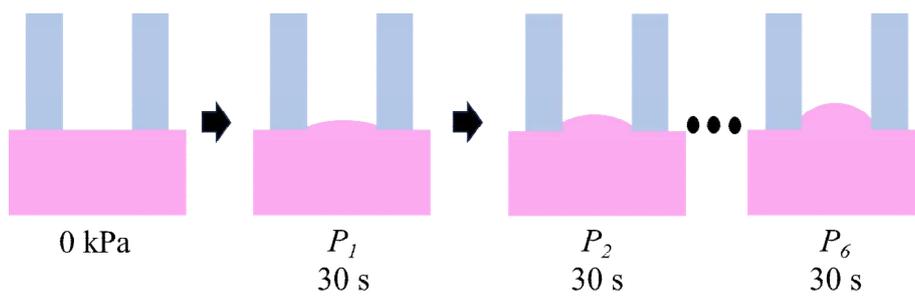


図 2 ピペット吸引法の模式図

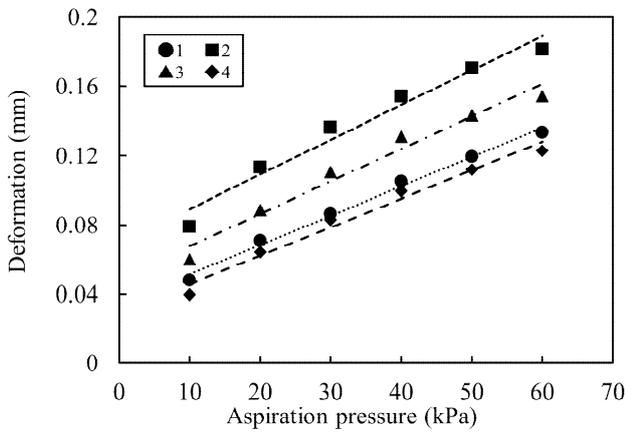
表 1 各試料における吸引圧 (kPa)

Sample	$P_1$ (kPa)	$P_2$ (kPa)	$P_3$ (kPa)	$P_4$ (kPa)	$P_5$ (kPa)	$P_6$ (kPa)
Mantle (Surface)	10	20	30	40	50	60
Arm (Surface)						
Mantle (Cross section)	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	
Arm (Cross section)						

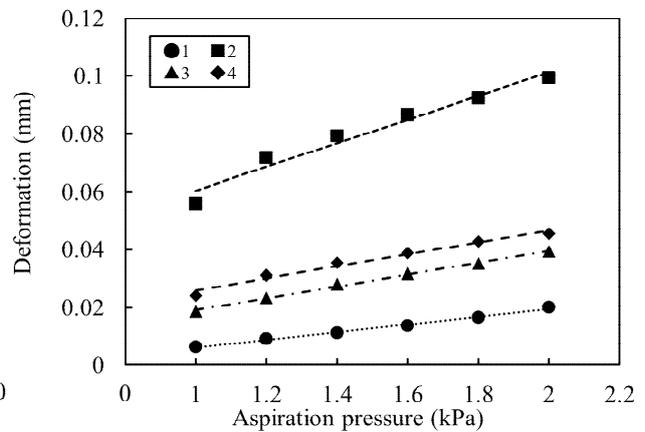
### 3. 実験結果および考察

図 3 に外套膜および腕の外表面および断面における圧力と変形量の関係を示す。外套膜における外表面と断面の変形量は圧力の増加にともない線形的に増加した (図 3 (a))。また、腕の外表面と断面における変形量も線形的に増加した (図 3 (b))。

次に、変形量から算出した外套膜および腕の硬さを図 4 に示す。外套膜の外表面および断面の硬さは、それぞれ 99.2 kPa, 18.3 kPa であった。したがって、外套膜は断面に比べて外表面が硬いことが分かった。また、腕の外表面および断面を比較した場合においても、断面に比べて外表面が硬いことが分かった。

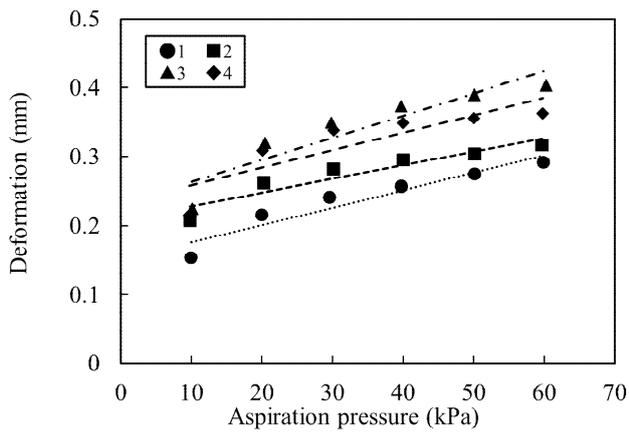


(i) 外表面

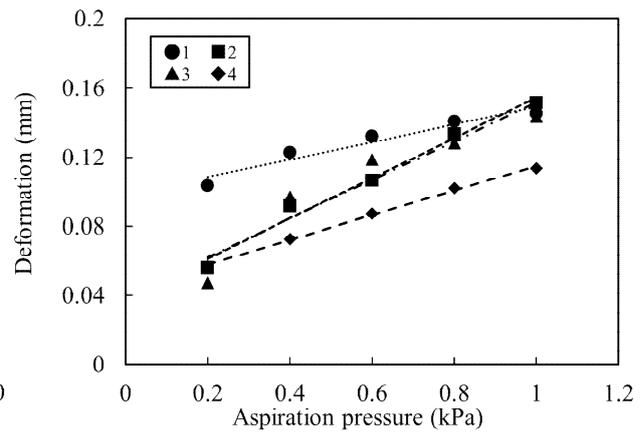


(ii) 断面

(a) 外套膜における変形量と圧力の関係



(i) 外表面



(ii) 断面

(b) 腕における変形量と圧力の関係

図 3 外套膜および腕の外表面および断面における変形量と圧力の関係

次に外套膜と腕の外表面の硬さに着目する。外表面において腕に比べて外套膜は硬かった。また、断面を比較した際においても、外套膜は腕に比べて硬かった。したがって、外套膜は腕に比べて硬い組織であると考えられる。イカの外套膜および腕は筋繊維から構成されていることが報告されている<sup>(2)</sup>。そのため、外套膜および腕の力学特性の相違は、筋繊維の構造や構成するタンパク質の種類に起因している可能性が考えられる。

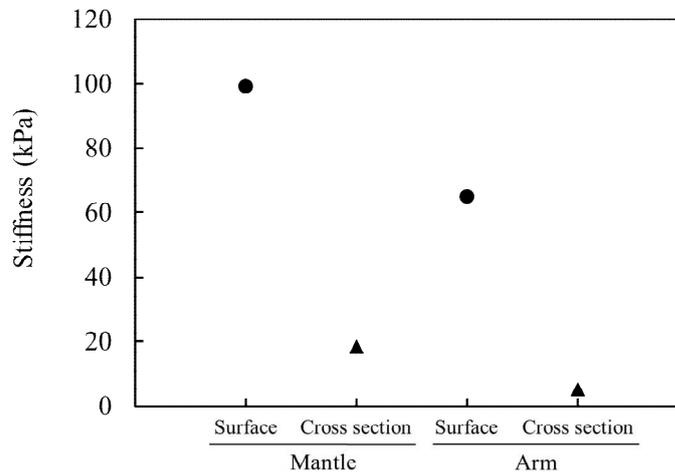


図4 外套膜および腕の硬さ

#### 4. まとめ

本研究では、ピペット吸引法を用いてスルメイカの外套膜および腕の硬さを測定した。外套膜および腕の硬さを比較した結果、腕に比べて外套膜が硬いことが分かった。また、外表面および断面の硬さを比べると外表面が硬いことがわかった。

#### 参考文献

- (1) Bermudez B., et al., Advances in Micropipette Aspiration: Applications in Cell Biomechanics, Models, and Extended Studies, *Biophysical Journal*, Vol. 116, pp. 587-594, (2019).
- (2) Otwell W. and Giddings G., Scanning Electron Microscopy of Squid, *Loligo pealei*: Raw, Cooked, and Frozen Mantle, *Marine Fisheries Review*, No.5931, pp. 67-73 (1980).