

# 温度変化による生物的な粘度の変遷について

静岡県立富士高等学校

自然科学部生物班 2年 石川昂 小針威吹 手島友梨 宮川菜々花 望月美空

## 1 動機

夏の旬の食材であるオクラが食卓に並んだ際に、粘り気を含む食材の粘度が温度により差があるのか、そして最も高い粘度を発揮する温度はどのくらいなのかについて興味を持ち、研究することにした。

## 2 仮説

モロヘイヤを加熱すると、粘り気が出るように、ほかの食材も温度変化により粘度の変化が現れ、加熱するほど粘度が高くなる。しかし、生物の授業で習ったほとんどのタンパク質には最も活発に働く最適温度があるので、今回も最適温度があると考えた。

## 3 材料

モズク

- ・褐藻類ナガマツモ目モズク属モズク科
- ・粘り気のもととなる物質はアルギン酸（食物繊維の一種で水に不溶性）

※アルギン酸はマンヌロン酸とグルロン酸という二種類のウロン酸がランダムに結合している直鎖状多糖である。

二種類のウロン酸が複数重なった構成単位はユニットと呼ばれており、マンヌロン酸だけのユニットはMブロック（平坦なりボン状傾向）、グルロン酸だけのユニットはGブロック（舟形傾向）、混在しているブロックはランダムブロックと呼ぶ。

MブロックとGブロックの比率は植物の種類や部位によっても異なる。

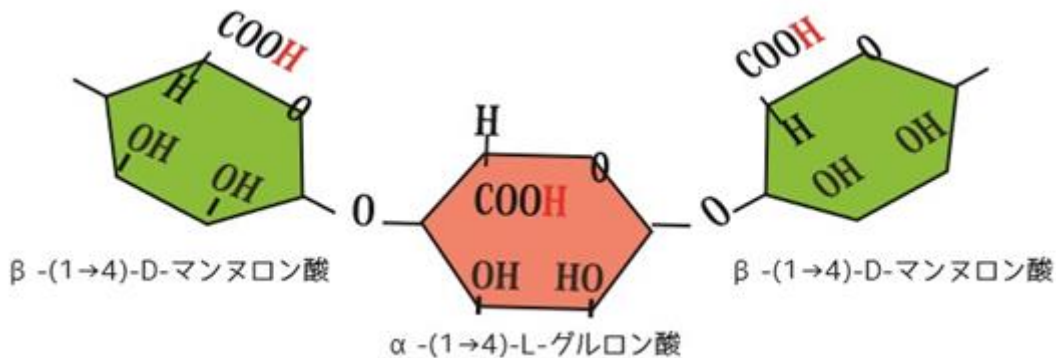


図1 二種類のウロン酸が結合している様子

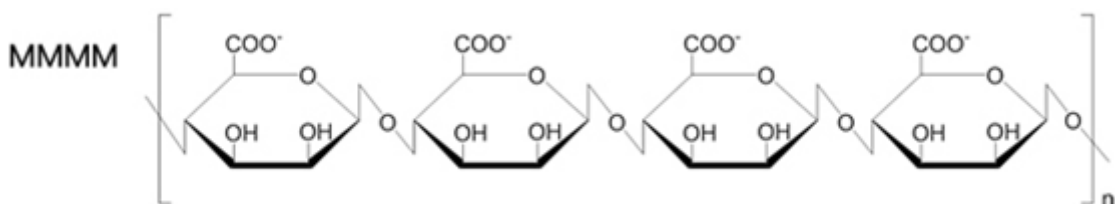


図2 Mブロックの構造

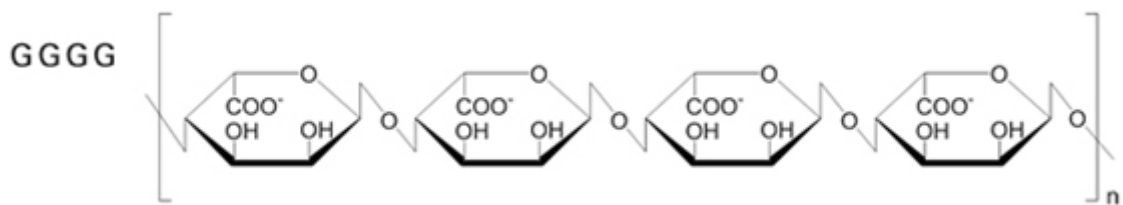


図3 Gブロックの構造

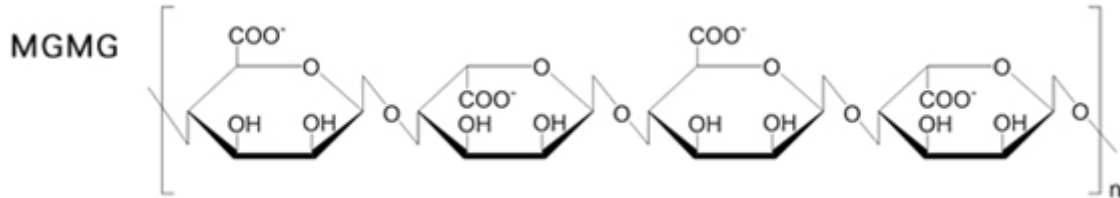


図4 ランダムブロックの構造

オクラ

- ・アオイ科アオイ属

- ・粘り気のもととなる物質はペクチン

(食物繊維の一種、水溶性のペクチンと不溶性のペクチンの二種類)

※ペクチンはガラクチュロン酸と、ガラクチュロン酸の一部がメチルエステル化されたガラクチュロン酸メチルエステルが $\alpha$ -1,4結合したポリガラクチュロン酸である。

D-ガラクチュロン酸

D-ガラクチュロン酸エステル

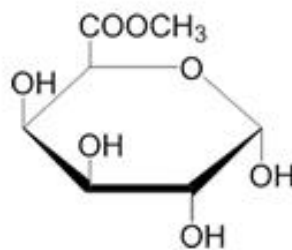
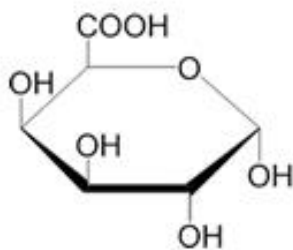


図5 ペクチンを構成するガラクチュロン酸とガラクチュロン酸エステルの構造

#### 4 準備

モズク、オクラ、ストロー、スポイト、ビーカー、ガスバーナー、ガラス棒、ストップウォッチ、温度計、三脚、金網

#### 5 実験 I

##### (1) 実験方法

①直径 0.6 cm のストローを 10 cm に切り、先端から 2.5 cm のところに印をつける。

②2 つの食材の粘液を抽出する。

モズクの場合：モズクを混ぜ、増加した粘液を抽出する。

オクラの場合：細かく切ったオクラに、1 本につき 25 mL の水を加えて混ぜた後、粘液を抽出する。

③切ったストローにスポイトで②の粘液を①でつけた印まで入れる。(写真 1)

④ストローを垂直に立てて、粘液がストローの先端まで落下するまでの時間をストップウォッチ

で測定する。

⑤粘液の温度は20℃、40℃、60℃、80℃、100℃、の5種類として、各温度5回ずつ行う。

粘液の温度の調節方法：測定する温度に加熱・冷却した水の中に抽出した粘液を3分間つけておく。(写真2)



写真1

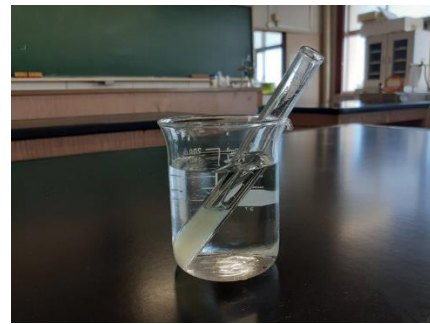


写真2

(2) 結果

結果を下の表とグラフで表す。グラフは平均値を表している。

モズク

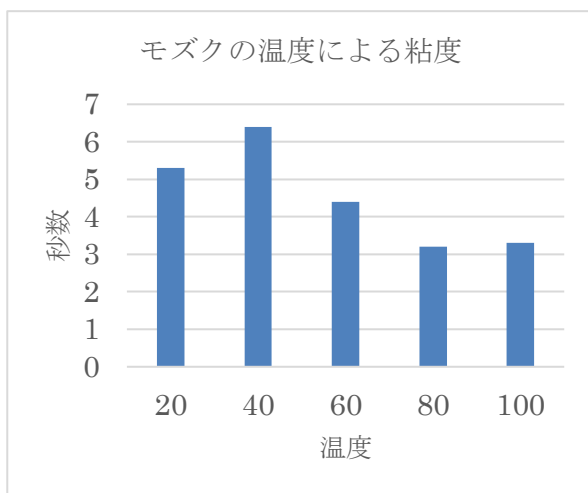
温度	20					40					60					80					100				
秒数	5.6	4.8	7.0	4.6	4.7	6.6	6.3	9.0	5.9	4.5	5.8	4.5	4.4	2.7	4.4	3.2	3.0	3.0	3.7	2.9	3.8	2.8	1.9	3.1	4.9
平均	5.33					6.44					4.35					3.18					3.30				

表1

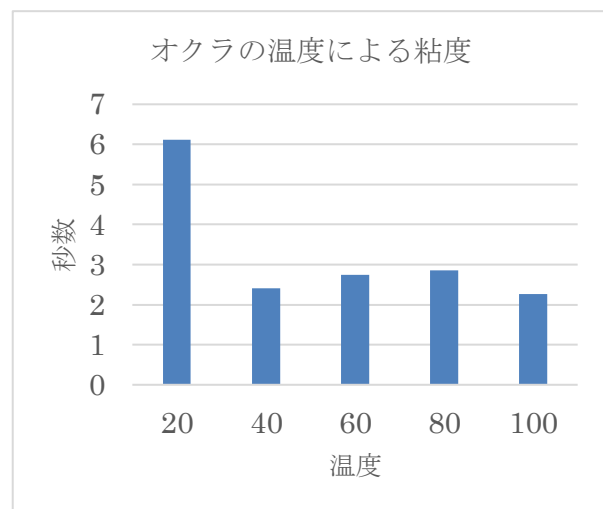
オクラ

温度	20					40					60					80					100				
秒数	5.4	5.3	5.7	6.9	7.3	1.6	3.2	3.4	1.7	2.1	2.0	6.5	2.0	1.7	1.5	3.9	4.8	2.9	1.3	1.4	4.6	2.1	2.0	1.3	1.3
平均	6.12					2.40					2.74					2.86					2.26				

表2



グラフ1



グラフ2

表1・2およびグラフ1・2より、モズクは40℃、オクラは20℃で最も粘度が高くなることが分かった。

## 6 実験Ⅱ

### (1) 目的

最も粘度が高くなる温度をより詳細に調べる。

### (2) 実験方法

実験Ⅰの結果で最も粘度が高かった周辺温度を、より間隔を狭めて実験Ⅰと同様に行う。

(モズク：25℃～55℃までを5℃おき、オクラ：5℃～35℃までを5℃おき)

### (3) 結果

結果を下の表とグラフで表す。グラフは平均値を表している。

#### モズク

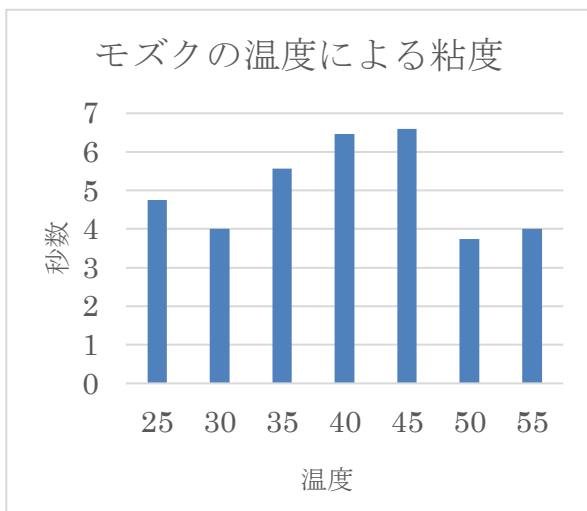
温度	25			30			35			40			45			50			55		
秒数	6.1	4.1	3.4	4.8	3.5	3.3	6.1	5.8	5.2	6.6	6.3	9.0	9.3	8.1	4.8	3.7	5.4	2.5	2.6	5.5	3.2
	4.3	5.9		2.9	5.5		5.0	5.7		5.9	4.5		5.1	5.7		4.5	2.6		5.0	3.7	
平均	4.76			4.00			5.56			6.44			6.60			3.74			4.00		

表3

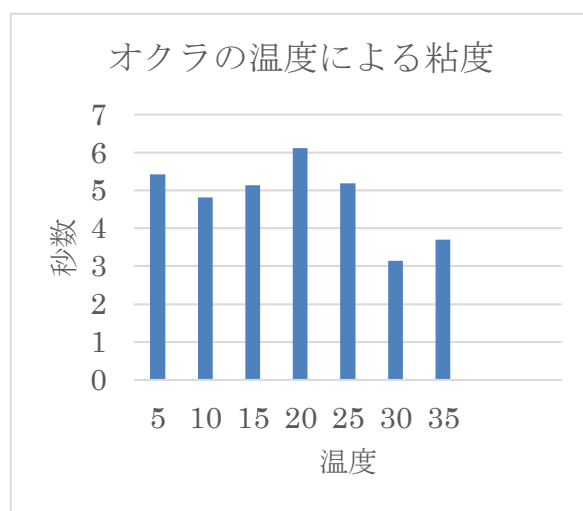
#### オクラ

温度	5			10			15			20			25			30			35		
秒数	3.5	8.3	9.9	6.0	6.1	5.6	4.1	5.1	6.1	5.4	5.3	7.3	4.7	7.8	5.4	3.8	2.7	3.4	4.0	4.2	4.6
	3.0	2.4		3.4	3.0		5.7	4.7		5.7	6.9		5.0	3.0		2.8	3.0		2.8	2.9	
平均	5.42			4.82			5.14			6.12			5.18			3.14			3.70		

表4



グラフ3



グラフ4

表3・4およびグラフ3・4より、モズクは40℃～45℃、オクラは20℃前後で最も粘度が高くなることが分かった。

## 7 実験Ⅲ

### (1) 目的

実験Ⅰ・Ⅱでの結果の原因を調べる。

### (2) 実験方法

粘液を加熱した後、実験Ⅱで最も粘度が高くなったときの温度に冷却し、実験Ⅰと同様に行う。

(モズク：60℃、80℃、100℃に加熱した後、45℃まで冷却して計測)

(オクラ：40℃、60℃、80℃、100℃に加熱した後、20℃まで冷却して計測)

### (3) 結果

結果を下の表とグラフで表す。グラフは平均値を表している。

モズク

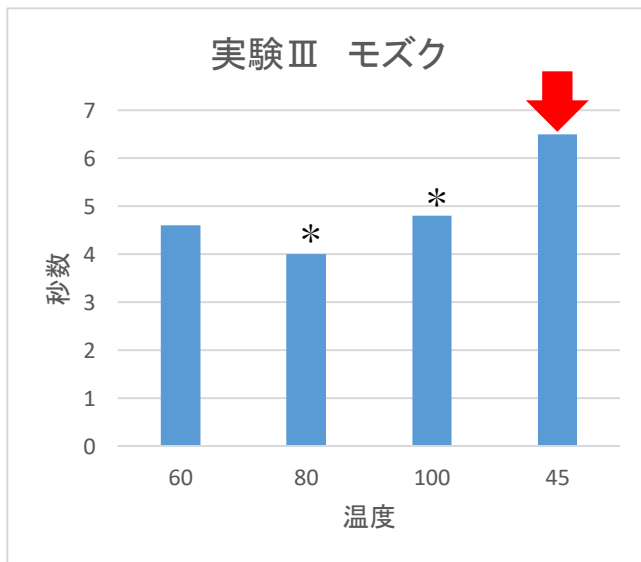
温度	60					80					100				
秒数	4.1	5.3	3.0	5.7	5.0	3.7	3.9	3.5	4.2	4.6	5.5	4.5	5.2	4.0	4.7
平均	4.62					3.98					4.78				

表5

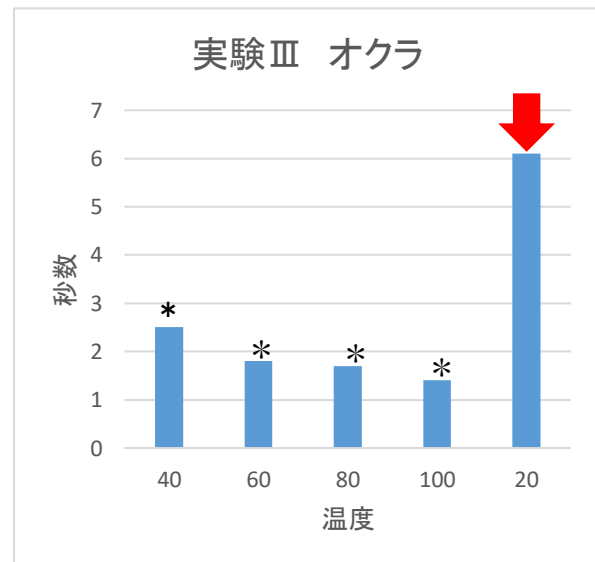
オクラ

温度	40					60					80					100				
秒数	4.1	2.4	1.5	1.6	3.0	2.0	1.0	1.7	1.7	2.4	1.9	2.1	1.7	1.3	1.5	1.5	1.3	1.4	1.5	1.5
平均	2.52					1.76					1.70					1.44				

表6



グラフ5

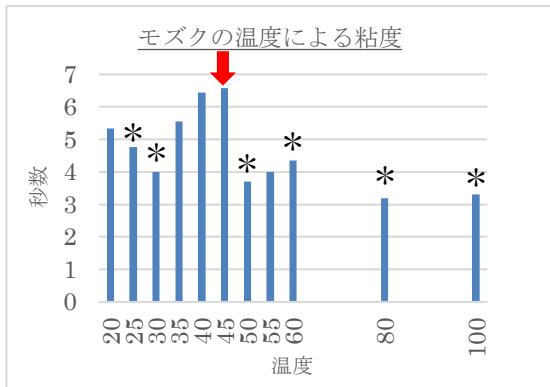


グラフ6

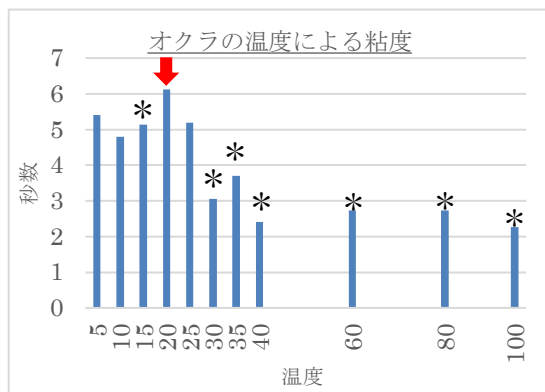
グラフ上にある\*は、実験Ⅰ・Ⅱで最も高くなった温度の記録(矢印がついている要素)を基準として、実験Ⅲでの結果の数値が、有意差( $p < 0.05$ )があるかどうか確認した際に「ある」と判定された場合の温度を示している。表5・6およびグラフ5・6より、モズクもオクラも加熱後に最も粘度が高くなった温度に冷却しても、実験Ⅱで計測した記録より、秒数は明らかに小さくなり、粘度は発揮されなかった。

## 8 考察

実験Ⅰ・Ⅱの結果より、モズクの最適温度は40℃~45℃、オクラの最適温度は20℃前後であることが分かった。



グラフ7



グラフ8

グラフ7・8上にある\*は、グラフ5・6と同様に最も粘度の高くなった温度の記録(矢印のついている要素)を基準にt検定を用い、有意差 ( $p < 0.05$ ) が認められた温度を示している。この実験では、モズクは45℃、オクラは20℃を基準としている。そして、それぞれのグラフからわかるように、温度は異なるものの、どちらも比較的に低温度で一度粘度が大きくなることや、温度が上昇するにつれて粘度が一時的に低下すること、再び温度が大きくなり急激に粘度が低下していること、という同じような傾向が見られた。また、実験Ⅲの結果より、一度加熱すると粘度が加熱前に回復することはなかった。したがって、モズクもオクラも加熱によって粘り気の成分が変化したと考えられる。

### ・モズク

50℃から急激に粘度が低下したのは構成物同士の結合が切断され、低分子化が進んだと考えた。また、文献4により、50℃以上で加熱し続けるとアルギン酸の低分子化が進むということも確認できた。これらの要因で粘度が下がったと考えられる。

### ・オクラ

25℃前後で粘度が低下したのは、ペクチンを構成する糖同士の結合が切断されたためだと考えた。また、文献5から、糖同士の結合を切断するβ-脱離と呼ばれるペクチン特有の現象が起こるということが分かった。β-脱離とは、メチル基によってエステル化されているペクチンを、中性または塩基性の水溶液中で加熱すると二重結合を生ずる、というものである。(図6) これらの要因で粘度が下がったと考えられる。

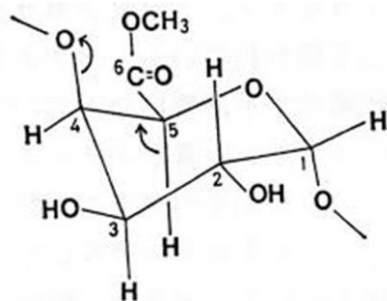


図6

共通点として、温度が低い状態で測定すると粘度が高くなる傾向があったが、これは物質を冷やしたことにより、固まったと考えられる。

また、実験Ⅲの結果は、粘液を構成する物質の結合が切断される温度まで、一度熱されたために結合が切れたことによるものだと考えられる。そして、切断されたものは、再結合しなかったといえる。

## 9 今後の展望

ペクチンの粘度の変遷について調べるうちに、粘度の変化には温度だけでなく pH も関係するということが分かったので、今後は pH の値を変えて実験を行いたい。

## 10 参考文献

- 1) <https://www.konbukan.co.jp> (昆布館)
- 2) <https://Shokulab.unitecfoods.co.jp> (食品開発ラボ)
- 3) <https://himitsu.wakasa.co.jp> (わかさの秘密)
- 4) <https://115283.jp> (こうはらのアルギン酸Product Guide)
- 5) 渕上倫子 「野菜の加熱とペクチン質」 日本調理科学会誌 vol. 40 (2007)
- 6) <https://www.kimica.jp/alginate/structure/> (株式会社キミカ)