

柔らかなあずきバーの作成

2606 岩田らな 2534 松永花凜

本研究では、硬いあずきバーを柔らかくする検証を行うことを目的とする。そのために、実際にあずきバーの硬さを数値化する過程で、人間が物を噛む時のものの「硬さ」を測定できる装置の開発を試みた。「あずきバーの硬さ N は $N = Ft = \frac{1}{2}mv$ と数値化できる」と仮説を立て、噛む動作を再現できる装置を作成、改良した。取得したデータから得た $F-t$ グラフの面積に関する考察から、 F と t は反比例すると考えた。しかし、データの分散が大きく、しばしばグラフの面積の値が大きく異なるデータセットもみられたことから、今後、 N の分散を小さくするため、引き続き装置と測定方法を改良していく。

キーワード 硬さ N , $F-t$ グラフ, あずきバー, 分数関数

1. 目的

柔らかなあずきバーを製作するために、物体の硬さを数値化する理論の考察をし、実証する。

2. 仮説

噛む動作における対象の硬さを、次の通り定義する。「物体が二つ以上に分裂するまでに加え続けたある力 F の総和」

「ある力 F の総和」 N は $N = Ft = \frac{1}{2}mv$ [$N \cdot s$] と表すことができると考える。

<根拠> 項 Ft は硬さの定義より立式できる。

$N = \frac{1}{2}mv$ は、私たちが自作した装置について

(自分が万力にした仕事 W)

= (万力が得た運動エネルギー K)

= (実験対象がされた仕事 W)

とみなすことで、質量 m [kg], 万力を動かした変位 x [m], 万力を動かした時間 t [s] とすると、

$$W = Fx, \quad K = \frac{1}{2}mv^2 \quad \text{より} \quad F = \frac{1}{2} m \frac{x}{t} \cdot \frac{1}{t}$$

上式と $N = Ft$ より、 $N = \frac{1}{2}mv$ と求められる。

3. 器具・材料

- ・歯の模型
- ・あずきバー
- ・タブレット
- ・C型万力×4
- ・定規
- ・タイマー
- ・瞬間接着材
- ・力学スタンド×2

- ・100 mm クランプ
- ・木板(厚さ 0.05 cm) × 6

4. 実験

i) m の導出

(1) 万力のハンドルと可動部の体積を求めた。

(2) $\rho = \frac{m}{V}$ より、 $m = \rho V$ であるので

万力を構成する鉄の密度 7.9 [g/cm^3] と、求めた体積を式に代入し、 m を求めた。

以上より、 $m = 0.128$ [kg] とした。詳しくは項目 5 の i) の表 1 を参照されたい。

ii) 装置の組み立て

(1) 木の板二枚と歯の模型上下を、それぞれ瞬間接着剤で接着した。

(2) 力学スタンドに木板 5 枚(上歯を取り付けた板以外)を、C型クランプを用いて固定した(図 1)。

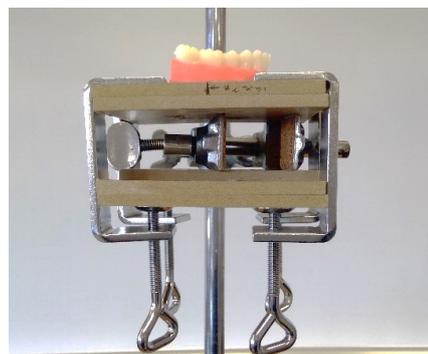


図 1 組み立て方

- (3) もう一つの力学スタンドに、万力を、ハンドル部分が上に来るように固定した。
- (4) (2)(3)を、(3)の万力が板の中央に位置するように近づけた(図2)。

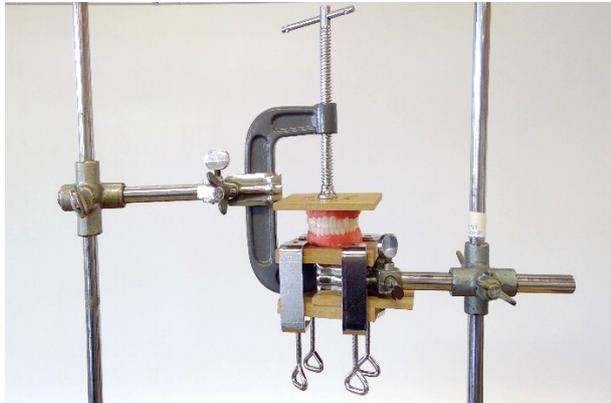


図2 装置全体図

iii) 実験方法

- (1) 装置にあずきバーを挟んだ。
- (2) 次の(3)を行う際、板の不安定さによって基準となる長さの信頼性が損なわれることを防ぐため、あずきバーと万力の間を上歯をつけた木板を挟み、万力を木板に触れるまで回した。
- (3) 歯がついた下の板から上の板までの長さを測り、万力を動かした変位 x を出す際の基準 q ($x = q - q'$) とした。
- (4) タブレットを用いて、万力を動かしたときからあずきバーが二つに分裂するまでの様子の撮影を始めた。
- (5) 一周4秒のペースを保つための目安として、タイマーを用いて時間の測定を始めた。
- (6) 万力のハンドルを一周4秒のペースで回し続けた。
- (7) あずきバーが2つに分裂したら万力を回すのをやめ、動画を参照して、割れた瞬間の位置に万力のハンドルを戻した。
- (8) (7)の位置で(3)と同様に長さ q' を測り、2つの値の差から変位 x を出した。
- (9) 動画から万力を回し始めてからあずきバーが割れるまでの時間を3回測り、その平均 t を求めた。
- (10) $N = \frac{1}{2}mv$ に代入し、 N の値を求めた。

5. 結果

i) 表1 測定値と計算値

ハンドルの体積[cm ³]	15.6
可動部の体積[cm ³]	3.52
体積と密度の積[g]	128

iii) 表2 測定値と v , N , F の計算値

	x (cm)	t (s)	v (cm/s)	N (Ns)	F (N)
1	0.35	9.02	0.039	0.0025	0.00028
2	0.52	6.48	0.080	0.0051	0.00079
3	0.52	7.44	0.070	0.0045	0.00060
4	0.8	13.2	0.061	0.0039	0.00029
5	1.03	15.6	0.066	0.0042	0.00027
6	1.25	21.4	0.058	0.0037	0.00017
7	1.49	37.49	0.040	0.0025	0.00007
8	1.07	15.68	0.068	0.0044	0.00028
9	0.75	10.72	0.070	0.0045	0.00042
10	0.6	11.35	0.053	0.0034	0.00030
11	0.74	12.67	0.058	0.0037	0.00030
12	0.88	9.55	0.092	0.0059	0.00062
13	0.22	12.59	0.017	0.0011	0.00009
14	0.42	16.45	0.026	0.0016	0.00010
15	0.49	9.55	0.051	0.0033	0.00034
16	0.12	5.75	0.021	0.0013	0.00023
17	0.49	21.51	0.023	0.0015	0.00007
18	1.25	17.68	0.071	0.0045	0.00026
19	1.36	15.13	0.090	0.0058	0.00038
20	0.2	8.33	0.024	0.0015	0.00018
21	0.31	16.07	0.019	0.0012	0.00008
22	0.61	13.27	0.046	0.0029	0.00022
23	0.14	2.86	0.049	0.0031	0.00110
24	0.82	12.97	0.063	0.0040	0.00031
25	1.11	45.02	0.025	0.0016	0.00004
26	1.34	48.8	0.027	0.0018	0.00004
27	1.35	35.43	0.038	0.0024	0.00007
28	1.24	28.6	0.043	0.0028	0.00010
29	1.23	45.6	0.027	0.0017	0.00004
30	1.36	11.84	0.115	0.0074	0.00062
31	0.52	13.055	0.040	0.0025	0.00020
32	1.14	18.51	0.062	0.0039	0.00021

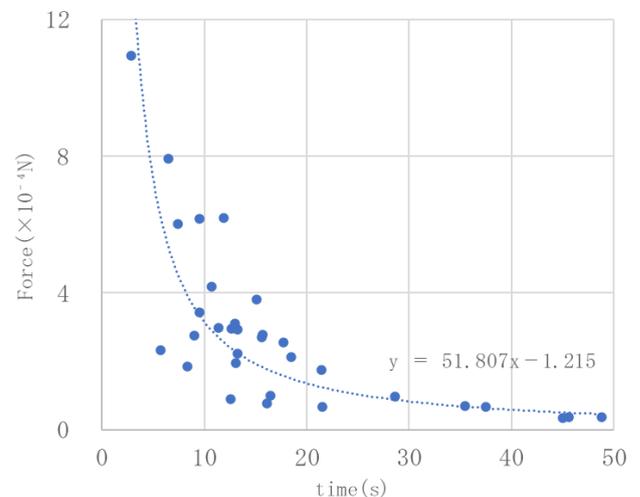


図3 $F-t$ グラフ

6. 考察

図3より、 $F[N]$ と $t[s]$ の関係は、変数の指数部が負の値、即ち分数関数であることが分かる。定数 a を用いて $y = \frac{a}{x}$ で表される分数関数は式を変形すると、 $xy = a$ となることより、 x と y の積は常に一定となることが分かる。このことを $x-y$ 平面に存在する点 $A(s, t)$ について考えると、 x と y の積は $(s, 0)$ 、 $(0, s)$ の2点と原点、点 A で構成される四角形の面積である。…①

$N = Ft$ で硬さが表されるならば、その物体はおおよそ同じ硬さをもつため、 $F-t$ 平面に存在する点 $A'(s', t')$ についても $(s', 0)$ 、 $(0, t')$ と原点と点 A' で構成される四角形の面積は常に一定となるはずである。…②

①、②より、図3のグラフは $N = Ft$ で表される N の値が一定となるための十分条件が満たされたため、人間が物体を噛む時の硬さ N は

$$N = Ft = \frac{1}{2}mv$$

で表されると言える。

また、 $F-t$ グラフの分布について、2024年5月22日迄の N の平均 M_1 、同年11月14日迄の N の平均 M_2 は、 $M_1 = 5.09$ 、 $M_2 = 3.37$ である。このことより、実験の精度が高まり、実験によって得られる値の正確性が向上し、求める N が物体のもつ固有の硬さの値 α に近づいていると考えられる。

また、次に示す表3より、確かに N の平均値の変化量は減少していることがわかる。

表3 N の平均値と変化量

	データ数	N の平均	N の変化量
5月7日迄	3	4.03	
5月22日迄	6	5.09	1.06
10月10日迄	7	4.73	-0.36
10月16日迄	20	3.8	-0.93
11月7日迄	24	3.41	-0.39
11月14日迄	29	3.37	-0.04

このことから、あずきバーの硬さは $3.37[N \cdot s]$ としてよいと考える。

7. 結論

人間が物体を噛む時の硬さ N は $N = \frac{1}{2}mv$ として表すことができ、あずきバーの硬さは $3.37[N \cdot s]$ である。

8. 展望

あずきバーを硬くする要因を明らかにするため、水溶液を凝固させて作る物体の硬さを決定するものを明らかにする。

I. 仮説

あずきバーの硬さは水溶液を凍らせた物体の密度によって決まる。そのため、気泡を含ませて凍らせることであずきバーを柔らかくすることができる。

II. 方法

- (1) 以下のような溶液を作成する。
 - i) 水 100mL に上白糖 150g を加えた溶液
 - ii) 水 100mL に上白糖 50g を加えた溶液
- (2) 作成した溶液にラップを軽くかけ、溶液を凍らせる。
- (3) 凝固した物体の硬さ N を求め、比較する。

9. 謝辞

助言を頂きました本校物理科佐々木俊哉先生、並びに実験に用いたあずきバーの消費にご協力いただいた本校生徒、教員の皆様に感謝申し上げます。

10. 参考文献

2023 新編アクセス総合物理. 浜島書店編集部. 浜島書店. 2022. 10. 5