

# タンパク質分解酵素と肉

宮城県仙台第三高等学校

こんにちは若者の間でサラダチキンブームが巻き起こっている。鶏むね肉はタンパク質が主成分であり、安価で、食品店でもよく見かける。その入手のし易さと脂質が少ないという観点から人気が高まったのだろう。しかしながら、鶏むね肉は加熱すると硬くなり食感がぱさつきやすくなるため調理するのが難しい。したがって家庭で調理するのに手間がかかり、使いにくい食品の一つでもある。そこで、私達は肉を柔らかくし簡単に、かつ美味しく食べる方法を模索しようと考えた。現在、鶏むね肉を柔らかくする方法として硬い棒状のもので叩いて柔らかくする方法や茹で汁に漬け込む方法など、様々な方法が知られている。その中の一つの方法として食材に含まれるタンパク質分解酵素を利用して肉を柔らかくする方法がある。中国料理である酢豚を使うときにパイナップルを入れることは思い浮かびやすいだろう。ここで私達は身近にある様々な食品を用いて鶏むね肉を柔らかくしようと考えた。以上の理由から本研究では食品に含まれるタンパク質分解酵素に着目して実験を行った。

## 1 背景

肉をパイナップルやヨーグルトなどと一緒に調理すると肉が柔らかくなるということは知られている。そしてそれは、それぞれの食材に含まれるタンパク質分解酵素によってタンパク質の分解が起こり肉の繊維が細くなるからだ。私たちは、この反応についてそれぞれの食材がどれほど肉を柔らかくするのかという疑問から本研究に着手した。この研究により、今後更に拡大すると考えられる高齢化社会で顎や歯の弱い人でも食べやすい肉の調理法につながることも期待した。

タンパク質分解酵素とは総称であり、その中でも様々な種類に分けることができる。しかし、この実験において私たちは肉をどれくらい柔らかくするか重点を置き、どのタンパク質分解酵素が働いたかは区別しないものとする。また、物理的に叩く、直接の化学物質（粉末状のパパイン等）を使用するなどの方法も用いず、身近な食材を用い調理過程で肉を柔らかくすることを目標とした。

タンパク質分解酵素はタンパク質のペプチド結合が加水分解される際の触媒としてはたらく。先行研究により、パイナップルやキウイフルーツ、舞茸などの食材に含まれている。また、その中でもパイナップルが最も多く含んでいることもわかっている。また、タンパク質分解酵素は熱に弱く60~70℃で失活するため、加熱をしてしまうとその効果は失われる。温度が低すぎても反応が進みにくくなる。

先行研究は肉を用いた実験ではなかったため、本研究ではより現実の食事に近い状況で判断するため実際の肉を用いた実験を行い、その肉としては鶏胸肉を使用した。その理由は、安価で多くの人にとって入手が容易であり、脂肪が少なくタンパク質への反応が顕著であると考えたからだ。この際、肉を大きく柔らかくした食材ほ

ど多くのタンパク質分解酵素を含んでいるという前提で実験を行った。

## 2 実験1の材料と方法

先行研究よりタンパク質分解酵素を含むといわれている以下の食材を選出した。この食材の働きにより肉が柔らかくなると予測し、実験を行なった。

### 試した試料

プラム りんご 舞茸 納豆 ヨーグルト パプリカ キウイ パイナップル 玉ねぎ オレンジ  
メロン スイカ レモン グレープフルーツ

### 実験方法

- 1 鶏むね肉 1センチの厚さで一口大に切る
- 2 用意した試料をそれぞれフードプロセッサーで液体状になるまで混ぜる
- 3 2に鶏むね肉を20分間つけこむ
- 4 200度に予熱したオーブンで十分間焼く

フライパンで焼くと焼きムラが出てしまい柔らかさに影響してしまうと考え、オーブンを用いた。この方法を基盤とし実験を行なった。

実験1 基盤とした方法で鶏むね肉を調理し実食する。



fig.1 プューレ状の食材  
上の列の左から順に、玉ねぎ、りんご、キウイ  
フルーツ、パイナップル、舞茸である。

### 3 実験1の結果と考察

	味	柔らかさ	選出	備考
プラム	△	△	×	予想と異なりあまり柔らかくならなかった。
りんご	○	○	○	程よい甘さ
マイタケ	◎	▲	○	旨味がある。肉に合う。
納豆	×	▲	×	独特の臭みが残った
ヨーグルト	△	▲	×	予想と異なりあまり柔らかくならなかった。
パプリカ	○	△	○	旨味がある。肉に合う味。
キウイ	△	◎	○	甘い。繊維がほぐれている感じ
パイナップル	▲	◎	×	甘い。水分が多く出た。
玉ねぎ	◎	○	○	旨味がある。肉に合う味。
オレンジ	○	○	○	程よい甘さ
メロン	△	△	×	甘い。
スイカ	△	△	×	味が薄い。
レモン	▲	○	×	酸っぱい
グレープフルーツ	×	○	×	独特の酸味

上の表は班員五人の共通した意見をまとめたものである。

#### <柔らかさ>

パイナップル、キウイ、玉ねぎ、りんご、グレープフルーツ、レモン、オレンジが肉を柔らかくした。キウイはほろほろと繊維が崩れていくような食感であり、パイナップルは舌触りが柔らかく、溶けるような食感だった。他の食材はノーマルと比べた際に食感に違いがみられる程度で柔らかくなった。また、プラム、舞茸、納豆、メロン、スイカはノーマルとほとんど変化がないように感じられた。

#### <味>

舞茸、パプリカ、玉ねぎが旨味があり美味しく感じた。しかし、グレープフルーツやオレンジ、レモンは肉と味が合わなかった。ここから野菜類、きのこ類の旨味は肉の味と相性がよく、果物類の甘みは相性が良くないと考えられた。野菜類を用いると旨味が出て和風の味になり、果物類を用いると洋風の味になる事がわかった。

結果から、味と相性が合わなかったグレープフルーツ、オレンジ、レモンは本研究の肉を美味しく調理するという目的に沿わないため研究に不向きであると考えた。また、プラム、納豆、ヨーグルト、パプリカ、メロン、スイカは柔らかさの変化が殆ど見られなかった。以上の理由からキウイ、玉ねぎ、舞茸、パイナップル、りんごの5つの試料を選出し、次の実験を行なった。

### 4 実験2の材料と方法

実験2 人間の口を模した装置で柔らかさを客観的に測定

(実験2)について、この方法を行った理由は(実験1)の評価方法では個人差が生じ、目標である各食材による柔らかさの差を評価できないからである。この装置では穴あけパンチと歯のモデルを用いて機構の作成を行い、Arduino nano というマイクロコンピュータボードを用いて評価をする。この装置では対象となる肉を噛み切ったときにかかる力を測定し、単位はN(ニュートン)を用いる。力の計測は下顎の下部にあるデジタルロードセルを通して行い、下顎の左奥歯にあるスイッチを上顎の歯が押した時点で、噛み切ったとみなし値を固定する。その値を柔らかさの評価として用いる。柔らかい肉ほど噛み切るのに必要な力は小さくなり、値は小さくなる。

### 5 実験2の結果と考察

表の実験結果は全てのものに対して二十五回のデータの平均値である。これにより、先行研究や(実験1)の結果と同じく、パイナップルが最も多くのタンパク質分解酵素を保有していることがわかる。しかし、(実験1)の結果と数値の関係から、数値でわかる柔らかさと実際に食べた時の食感に認識のずれが生じた。これには後述するこの装置で発生する値のばらつき(分散)が関係していたと考察できる。また、今回の実験では考慮しなかったが、それぞれのタンパク質分解酵素の種類によってタンパク質の分解の仕方が異なり食感に変化が生じた、とも考えられる。

この装置に用いた歯のモデルは実際の歯をスキャナーでデータ化したものを使用し、それを3Dプリンターで出力した。上顎を穴あけパンチの上部にネジで固定し、それに合うように下顎の位置を定める。下顎は直接デジタルロードセルに固定し、力の分散がなるべく起こらないようにする。下顎の左奥歯にあるスイッチには薄膜精密圧力センサーを用い、上顎の対応する歯が触れることで値の固定が起こるようにしている。測定された数値は小型ディスプレイに常時表示されており、固定された値は十秒間表示され続ける。これにより、より簡単にデータを収集できる。値を測定するときは、右奥歯に肉のをせ穴あけパンチの上部を手で下におろし噛ませる。このとき、データの正確性を保つためにゆっくりとかける力を大きくし、噛み切れた時にかかっていた力を測れるようにする。

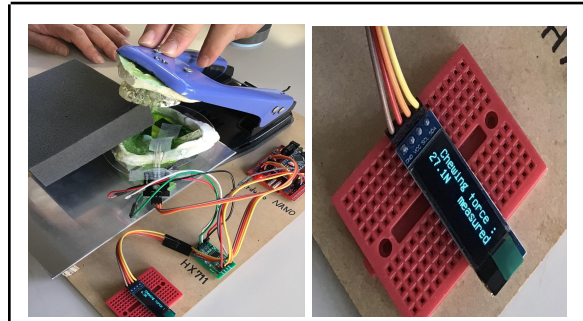


fig.2 装置の写真  
左は装置にスポンジを噛ませている様子。右は装置右下にある小型ディスプレイに実際に値が表示されている様子。

この装置に用いたArguino nanoのスク립トをfig. 3に示す

```
#include "HX711.h"

#define DOUT 3
#define CLK 2

HX711 scale;

void setup() {

  Serial.begin(57600);
  scale.begin (DOUT, CLK);
  scale .begin (FOURTH, CLK) +id loop () {

  scale.set scale ();
  Serial.println(scale.get_units ());

}
```

	実験1による結果	実験2による結果(N)	備考
基準 (control)	硬い	19.3	パサついた
りんご	少し柔らかい	14.9	食感はちょうどいい
舞茸	少し硬い	13.4	食感はちょうどいい
玉ねぎ	少し柔らかい	13.2	食感はちょうどいい
キウイフルーツ	柔らかい	11.4	水分が出てきて食感が悪い
パイナップル	柔らかい	8.5	水分が出てきて食感が悪い

fig.3 スクリプト  
デジタルロードセルに百グラムのもを乗せ、その値を1Nと固定する事によって、ロードセルにかかった力をニュートンで表せるようにし

ている。HX711とは今回用いたArduino nano のことである。

また、この装置の正確性を測るために次のようなデータをまとめた。(fig. 3)

20.8	23.9	23.4	20.1	28.9
20.2	19.0	22.4	20.9	19.8
21.6	19.9	26.8	17.2	18.6
20.5	18.6	19.4	21.7	19.0
19.3	17.9	25.9	19.2	21.7
分散				2.63
標準偏差				1.62

fig. 4 装置の正確性について  
ここでは同じスポンジの柔らかさを装置で実験と同じ二十五回計測し、その分散と標準偏差を求めた。

装置で集められたデータは大きなばらつきがあったわけではないが、値が大きくなってしまいうことが数回あった。今回の実験では試行回数が二十五回であったため、この値の変動が結果に影響したとも考えられる。

これらの結果より、パイナップルには確かに多くのタンパク質分解酵素が含まれていて肉を大きく柔らかくすることはわかったが、食感が損なわれてしまう場合もあることがわかる。比べると効果は小さかったが、他の食材にもタンパク質分解酵素が含まれていて、肉は柔らかくなる。また、それぞれの食材によって肉の味や香りも変化したので、タンパク質分解酵素を用いて肉を柔らかくしつつ様々な種類の調理を行うことも可能であると考える。

## 6 レシピ

実験1、2で得た結果からレシピを考えようと試みた。ここでは班員からの肯定意見が多かった玉ねぎを使って美味しい肉料理を作ろうと考えた。まず、火加減やおおよその分量を確定するために既存のレシピを調べ、そこから自分たちのレシピの基盤をつくった。

### 材料

鶏むね肉一枚 パイナップル 塩 こしょう  
サラダ油 (トマトケチャップ) (バター)

### レシピ

- 1 鶏むね肉を切り、塩こしょうをふる
- 2 パイナップル50グラムを細かく刻み、肉に10分間つけこんでおく
- 3 フライパンに油を引き、3~4分間焼く
- 4 3のつけ汁、トマトケチャップ大さじ一、ウスターソース、バター小さじ2をフライパンで煮詰める

このレシピはつけ汁を残さずソテー用の付け合せに無駄なく用いている。また、シンプルな材料できているためどの食材をしようとしても応用がしやすいだろうと考え、このレシピを選択した。

上記したレシピにいくつかの変更点を加え自らのオリジナルレシピを考案した。

### 材料

鶏むね肉一枚 玉ねぎ半玉 塩 こしょう  
サラダ油 (にんにく、酒 大4、醤油 大4 酢 大2、砂糖 小1)

- 1 鶏むね肉を切り、塩こしょうをふる
- 2 玉ねぎを細かく刻み、肉に20分間つけこんでおく
- 3 フライパンに油を引き、3~4分間焼く
- 4 3のつけ汁、(用意した食材)をフライパンでひと煮立ちさせる

玉ねぎはパイナップルより柔らかくなりにくいことからつけ時間を20分間にした。また、玉ねぎは水分量が多いため分量を増やし、半玉分にした。そして、つけるソースを玉ねぎと鶏むね肉の味に合うように和風のものにした。

## 7 参考文献

日本獣医畜産大学畜産食品工学科肉学教室  
(平野正男, 鏡晃助), 今さら聞けない肉の常識, 食肉通信社, 1999年

河野将己・島田秀昭, 各種食品を用いたタンパク質分解に関する教材研究, 2018/11/28

タンパク質を身近なもので分解する実験,  
2020/7/8,  
<https://apec.aichi-c.ed.jp/kvouka/rika/junior/2018/2nen/bunkai/bunkai.html>

消化力を高める食, 社会福祉法人, 2020/7/8,  
<https://mivukinosato.or.jp/kenseikai/page580.html>

システインプロテアーゼ, Wikipedia, 2020  
パイナップルと消化酵素, 日本植物生理学会,  
2020/7/8,  
[https://jspp.org/hiroba/q\\_and\\_a/detail.html?id=1887](https://jspp.org/hiroba/q_and_a/detail.html?id=1887)

みんなのきょうの料理, NHKエデュケーショナル,  
2021/4/21,  
<https://www.kvounorvouri.jp/recipe/13386-%E3%83%9D%E3%83%BC%E3%82%AF%E3%82%BD%E3%83%86%E3%83%BC%E3%81%AE%E3%83%91%E3%82%A4%E3%83%8A%E3%83%83%E3%83%97%E3%83%AB%E3%82%BD%E3%83%BC%E3%82%B9.html>