おやつ昆布の噛みにくさと力学特性

神山かおる*・畠山英子**・小林知子**・八城正典***

東 輝明****・境 知子*・鈴木建夫*

Masticatory difficulty and mechanical characteristics of kelp snacks

Kaoru KOHYAMA*, Eiko HATAKEYAMA**, Satoko KOBAYASHI**, Masanori YASHIRO***,
Teruaki AZUMA****, Tomoko SAKAI*, Tateo SUZUKI*

* National Food Research Institute, 2-1-2 Kannondai, Tsukuba, Ibaraki 305-8642

** Kansei Fukushi Research Center, Tohoku Fukushi University, 6-149-1 Kunimigaoka,
Aoba-ku, Sendai, Miyagi 989-3201

*** Maejima Food Co. Ltd., 655 Hiratsu, Yoneda, Kakogawa, Hyogo 675-0054

**** RETS Division, Nitta Corporation, Sensor Development Project, 4-4-26 Sakuragawa,
Naniwa-ku, Osaka, 556-0022

Tensile test, sensory evaluation, electromyography and masticatory pressure measurement of kelp snack were carried out in order to clarify the characteristics as a functional food for mastication training. Though no difference can be detected in breaking stress of kelp samples used in the present study, breaking force is different according to their thickness. In the sensory evaluation, it was judged that the samples with a high breaking force were difficult to masticate. In the electromyography, the sample judged difficult to masticate showed long mastication time, many number of chewing strokes, and high total muscle activity needed until swallowing. In the meantime, there was no significant difference among the samples in masticatory force, contact area, and masticatory pressure in the first chew. It is considered that mechanical characteristics of the samples with higher breaking stress than masticatory pressure influence total masticatory behavior but don't affect the first chew of human.

(Received Mar. 10, 2000 ; Accepted Aug. 8, 2000)

はじめに

近年、軟らかい食品が増えたために、若者の咀嚼能力が未発達なのではないかと問題視されている^{1,2)}。伝統的な日本の食事では、食物繊維がふだんに含まれ、毎日の食生活の中で自然に咀嚼能力が鍛えられていたと考えられるが、現代の、特に若者の好むものの中には咀嚼を多く必要とする食品が少ない。

咀嚼訓練のために、人工食品すなわち、チューインガム^{3,5)}やコンニャクマンナンシート¹⁾を用いて咀嚼力の

増強が図られてもいるが、日常食品を噛むことによって、咀嚼能力が高まる方が望ましいのは言うまでもない。昆布は、ミネラル源として重要な食品であるだけでなく、咀嚼を多く必要とし、甘味やカロリーが少ないという点で、咀嚼訓練に向いている¹⁾。若者に利用されやすいコンビニエンスストア等で、手軽に購入でき、おやつとして食べられる形態にできれば、咀嚼機能食品としても有望であると考えられる。

咀嚼を機能として考えるとき、噛みにくさを何らかの数値表現する必要がある。咀嚼を運動としてとらえれ

* 農林水産省食品総合研究所 (〒305-8642 茨城県つくば市観音台 2-1-2)

** 東北福祉大学感性福祉研究所 (〒989-3201 宮城県仙台市青葉区国見ヶ丘 6-149-1)

*** 前島食品株式会社 (〒675-0054 兵庫県加古川市米田町平津 655)

**** ニッタ株式会社 RETS 事業部 (〒556-0022 大阪府大阪市浪速区桜川 4-4-26)

ば、咀嚼に要する筋肉の活動量の総和が高いもの^{6,7)}は噛みにくい食品と考えられる。これは咀嚼筋筋電位の時間積分値を求めて見積もられる。

今まで同一種の食品について噛みにくさの差異を筋電位計測から客観的数値で論じた例は少ない。一定重量または体積のゼリー⁸⁾、肉⁹⁻¹¹⁾、ビスケット¹²⁾、米飯¹³⁾等での報告があるが、繊維の多い植物性食品では皆無である。ここでは、おやつ昆布の噛みにくさに関係する力学的性質が何かを明らかにするために、力学物性の機器測定、官能評価、咀嚼筋筋電位ならびに咀嚼圧計測を行った。

実験方法

1. 昆布試料

原藻は1998年8月下旬から10月上旬に採取された岩手県産ホソメコンブ (*Laminaria religiosa* Miyabe) の長切2等および4等である。ソルビトールおよびアミノ酸等を含む調味液で味付け後乾燥し、一口サイズに切断した。水分は12.0% (常圧加熱乾燥法, 105℃ 2時間)、食塩相当量は8.4% (モール法) であった。

2. 昆布の分類

昆布は一回で咀嚼・嚥下が容易に行える大きさ、すなわち繊維方向の長さ45 mm×幅9.5 mmとした。一枚ずつ重量を量り、I (0.20 ± 0.03 g)、II (0.27 ± 0.03 g)、III (0.35 ± 0.04 g)、IV (0.45 ± 0.05 g) に分類した。被験者は見ただけ、または一枚を持っただけでは、どの試料かを判別することは難しい。

3. 力学特性の測定

インストロン 5542 型引っ張り圧縮試験機を用いて、初期の引っ張り用チャック間距離が10 mmになるように試料を装着し、繊維方向に10 mm/min で等速で引っ張り破断させた。試験温度は常温 (25℃) とした。

4. 官能試験

健康な20代の男女学生5名ずつ (平均年齢23.1歳) に4種の昆布をランダムな順番で与え、4種類を食べ終わった後に噛みにくさを順位法で答えさせた。

5. 筋電位計測

官能試験と同一の被験者とし、実験の目的や計測手法について十分説明を行った。左右の咬筋および側頭筋前腹上の表面に、脳波用皿状電極を張り付け、咀嚼中の筋電位を記録した (図1)。昆布試料はランダムな順で与え、どの試料も3回ずつ、計12試料を被験者が疲れないようにインターバルを取って計測した。被験者には試料種類を伏せ、普通に咀嚼し、嚥下させるようにした。ア

Fig. 1 Position of electrodes for electromyography measurement

The electromyographic activities are measured with surface electrodes attached on left and right anterior temporal and masseter muscles.

ンプ (日本光電 MEG-6108) で増幅した筋電位は、チャートレコーダと DAT (ソニー PC 208 A) 上に記録し、 500 s^{-1} で AD 変換後、嚥下までの咀嚼回数、咀嚼時間及び筋活動量を前報¹³⁾ に準じて解析した。

6. 咀嚼圧計測

咀嚼圧は、ニッタ社 ISCAN 10×10 システムを用いて測定した。センサは、図2に示すように、1個1.27 mm 角の感圧セルが10行×10列に配置された、厚さ0.1 mm 以下のプラスチックシート状で、飽和圧約4 MPa のものを、インストロン試験機で既知荷重を与えてキャリブレーション後に用いた。シートセンサ以外は既報^{14,15)} と同じシステムである。試料はセンサの感圧面の大きさに合わせ、繊維方向に長さ15 mm×幅9.5 mm に切った。被験者は健康な成人女性11名 (平均年齢32.5歳, 21~50歳) で、昆布をセンサシートの感圧面に固定し、噛みやすい側の第一大臼歯付近に当て、咀嚼させた。第一回目の咀嚼動作中に昆布試料下の各感圧点にかかる圧力を 200 s^{-1} で計測した。

実験結果

1. 昆布の力学特性

表1に昆布の形状および引っ張り試験結果を示す。試

Fig. 2 Iscan 10×10 sheet sensors

10 rows printed on top side and 10 columns on reverse side with 1.27 cm pitch make 100 sensing points. A kelp sample for the Iscan test is shown beside the sheet.

Table 1 Size and tensile test results for kelp samples

Parameter	Sample I	Sample II	Sample III	Sample IV
Weight (g)	0.201 ^a ± 0.005	0.272 ^b ± 0.006	0.338 ^c ± 0.007	0.457 ^d ± 0.008
Width (cm)	0.956 ^a ± 0.018	0.956 ^a ± 0.024	0.956 ^a ± 0.02	0.956 ^a ± 0.014
Thickness (mm)	0.34 ^a ± 0.01	0.48 ^b ± 0.02	0.59 ^c ± 0.03	0.76 ^d ± 0.02
Breaking force (N)	40.16 ^a ± 2.58	54.88 ^a ± 4.33	73.91 ^b ± 4.47	90.37 ^b ± 6.48
Breaking stress (MPa)	12.29 ^a ± 0.75	12.1 ^a ± 1.12	13.27 ^a ± 0.77	12.37 ^a ± 0.65
Breaking strain	0.71 ^a ± 0.05	0.87 ^a ± 0.10	0.86 ^a ± 0.04	0.87 ^a ± 0.08

Mean ± standard error

Values not followed by a common letter are significantly different ($P < 0.05$) in a row performed with Tukey test.

料 I ～ IV の重量は分散分析の結果、それぞれ有意に異なり ($P < 0.01$)、個々の昆布重量は厚さに比例した ($n = 60$ で相関係数 $r = 0.869$)。引っ張り破断荷重は $I < II < III < IV$ で有意差は I と II、III と IV のグループ間にあった。厚さが破断荷重の順に大きくなるため、破断荷重を初期断面積で割った破断応力にも、破断伸びを初期長で割った破断歪みにも分散分析結果に有意な差が認められなかった。

2. 官能試験

最も噛みやすいものを 1 点、噛みにくいものを 4 点として、10 人の被験者による噛みやすさの順位和は、I が 11、II が 22.5、III が 31.5、IV が 35 であった。Freidman 検定では、試料間に $P < 0.01$ で有意差が認められた。各

試料間の差を明らかにするため Wilcoxon の符号付き順位検定を行うと、 $P < 0.01$ で I と III が、 $P < 0.05$ で I と II、II と IV が有意に異なったが、II と III、III と IV の間には有意差がなかった。

3. 筋電図

図 3 に代表的筋電図を示す。咬筋、側頭筋共に、下顎を閉じる閉口筋であり、4 筋が食品を噛んでいる時に同時に活動するのが観察された。また、左で噛んでいるときは、左側の筋電位が強く出る傾向にあり、咀嚼側の筋肉活動が優勢であった。筋肉によってバーストの大きさは異なるが、咀嚼初期から後期までの間、顕著な大きさの変化は観察されなかった。4 筋のバースト部の面積を全咀嚼回数にわたって加えたものを、咀嚼に要した筋肉

Fig. 3 An example of electromyogram

Masticatory time, number of chewing strokes and total masticatory activities are determined.

の活動量と考えた。

個人差は大きく、例えば試料Ⅰは3回の平均咀嚼時間が、最小の被験者で16.0秒、最大で77.0秒、10名の平均で31.5秒であった。咀嚼時間と咀嚼回数は高い相関を示し（相関係数 $r=0.958$ ）た、全筋活動量とこれらの変数とも相関（咀嚼時間とは $r=0.644$ 、咀嚼回数とは $r=0.712$ 、いずれも $P<0.001$ ）がみられた。表2に示す通り、3変数ともⅠ<Ⅱ<Ⅲ<Ⅳの順に増加し、官能評価と同様に、ⅢとⅣには有意な差が見られなかった。

4. 咀嚼圧

最大咀嚼力および感圧面積、最大咀嚼圧すなわち最大咀嚼力/感圧面積を求めた。筋電図パラメータと同様、全変数について個人差が大きかった。また、Ⅰ<Ⅱ<Ⅲ<Ⅳの順にはならず、力学特性や官能評価、筋電図結果との対応が説明できなかった。試料と被験者の交互作用が認められることから、試料の力学的性質に由来する差とは言えないと考えられた。しかし、昆布を咀嚼する場合、平均して100 N（最小32–最大222 N）の咀嚼力、0.75 cm²（0.49–1.02 cm²）の感圧面積、1.36 MPa（0.65–2.15 MPa）の最大咀嚼圧が観測された。

Table 2 Electromyographic parameters of kelp samples

Parameter	Sample I	Sample II	Sample III	Sample IV
Masticatory time (sec)	31.51 ^a ±3.16	36.92 ^b ±2.52	48.72 ^c ±4.20	50.52 ^c ±3.32
min–max	16.03–76.97	26.13–63.00	35.33–108.33	35.43–90.13
Number of chewing strokes	46.30 ^a ±4.29	53.17 ^a ±3.62	70.63 ^b ±5.57	72.00 ^b ±4.54
min–max	28.00–98.67	30.33–79.00	40.00–139.00	44.33–107.33
Total masticatory activities (mV•s)	3.796 ^a ±0.295	5.044 ^b ±0.421	6.520 ^c ±0.465	7.040 ^c ±0.500
min–max	1.692–5.85	2.028–8.867	3.270–9.976	3.397–10.532

Mean±standard error and minimum–maximum values of 10 subjects.

Mean values not followed by a common letter are significantly different ($P<0.05$) in a row performed with Tukey test.

考 察

昆布は硬く一度の咀嚼では噛み切れず、何回も繰り返して咀嚼することによって、嚥下可能な状態になる。今回用いた試料では、もっとも噛みやすいと判定された I でも、平均して 46.3 回の咀嚼を要した。破断荷重が 40.2～90.4 N という値は、最大咀嚼力 100 N よりも低い。昆布について咀嚼力の実測例は見あたらないが、歯や義歯に歪みゲージ等を装着して、様々な食品の咀嚼中に測定された歯に働く力は、20～150 N 程度であり¹⁶⁻²¹⁾、軟らかい食品では低く噛みにくい食品では高くなる。昆布が噛み切りにくいことを考えれば、実測値 100 N は妥当であると思われる。一方、実際に昆布と歯が接触している面積を考慮に入れた最大咀嚼圧は平均 1.36 MPa であり、引っ張り破断応力 12.1～13.3 MPa に比べて、大幅に低かった。昆布は約 100 N の力をかけると、繊維方向に引っ張れば破断できるが、咀嚼のように繊維とほぼ直角に昆布表面積方向に広く作用させる場合は破断できない。その上、臼歯の形状は平らではなく、平均感圧面積 0.75 cm² が示す通り、昆布表面全体にまんべんなく力を加えることはできない。平均的には破断応力に比較して低い圧力しかかからず、さらに全く圧がかからない部分も存在することから、咀嚼においては、どんな被験者でも 10 回以内の咀嚼で昆布を破断することはできなかったと考えられる。

ここで用いた 4 種の昆布試料について、力学特性値、すなわち破断荷重の $I < II < III < IV$ を反映するのは、嚥下までに必要な時間に関する変数である。咀嚼時間、咀嚼回数、咀嚼筋の全活動量であった。これらの変数は互いに相関し、官能評価でも、咀嚼を長く要するような試料を、噛みにくいと感じた。筋電位計測が必要な、嚥下までに要する全筋活動量に対し、咀嚼回数や咀嚼時間を計測するのは容易である。咀嚼回数または咀嚼時間の計測により、筋電位等の生体計測を行わなくても、咀嚼しやすさを見積もることができるのではないかと考えられる。

昆布一枚当たりの咀嚼時間、回数、咀嚼筋全活動量は、互いに相関し、重量や厚さの高い $IV > III > II > I$ の順であった。一方、昆布重量当たりの咀嚼時間、回数、咀嚼筋活動量の総和は、 $I > II > III > IV$ の順である。噛み切れることを重視し厚さ当たりでも計算したが、IV が最小となり重量当たりの場合と似た傾向であった。すなわち、同じ栄養価ならば、咀嚼量は薄い昆布を多数食べた方が多くなる。昆布のように噛みにくい試料においては、一

口量を小さくしても噛まないで丸飲みしてしまう恐れはない。薄い昆布の方が、同一量を摂取するための咀嚼活動は増加し、咀嚼訓練にはより効果的と言える。

見ただけでは噛みにくさが違うことがわからない 4 種の昆布を 1 回目に噛むとき、被験者は過去に昆布を食べた経験により約 100 N の力を出したと思われる。1 回目の咀嚼圧に試料差が現れなかったのは、1 噛み目に試料の噛みにくさが認知できなかったからではないかと推定される。あるいは、破断時の圧力減少が咀嚼曲線に現れる、容易に破断される食品と異なり、昆布のように噛み切りにくい食品においては、咀嚼圧が試料の破断荷重に影響されないとも考えられる。

咀嚼中に、昆布は唾液と混合して軟化し、徐々に形状も崩れてゆく。嚥下時までに力学特性は大きく変化するのは明らかである。そのため、咀嚼初期に最も試料の力学特性が顕著に現れると考えられたが、筋電位も咀嚼圧も個人差に比べて試料間差は小さかった。試料間差がなかった破断応力や破断歪みが生体計測による変数に関連している可能性もあるが、咀嚼の長さが破断荷重と対応があったことは、咀嚼が昆布の力学特性によって変化したことを示している。昆布は、少数回の咀嚼では噛み切れないため、破断荷重に相当する変数が咀嚼初期の生体計測からは得られなかったのではないかと推察している。咀嚼筋の強さや歯の形状等の個人差が計測値の大きな差を生じる原因となっているのだろうが、個人の咀嚼能力にも関わる重要な問題と考えられるので、昆布の咀嚼計測値と咀嚼能力との関係については別途発表する²²⁾。

要 約

おやつ昆布の咀嚼機能食品としての特性を明らかにするために、引っ張り試験機による破断測定、官能評価、咀嚼筋筋電位ならびに咀嚼圧計測を行った。今回用いた 4 種の昆布では、破断応力は変化しないが、厚みが異なるため、破断荷重は異なった。官能評価では、破断に大きな力を要したものが噛みにくいと判断された。筋電位計測では、噛みにくいと判断された試料では、咀嚼時間や咀嚼回数、全咀嚼筋活動量が大きくなった。昆布のように咀嚼圧よりも高い破断応力をもつ試料の力学特性は、ヒトの嚥下までの咀嚼挙動に影響し、破断荷重の高い試料を、ヒトは咀嚼回数を多くし、長時間をかけて咀嚼し、噛みにくいと感ずることが示唆された。一方、一回目の咀嚼に要する咀嚼圧や感圧面積等には、試料の力学特性の影響は認められなかった。

本研究は科学技術庁生活社会ニーズ研究の助成金によって行われた。また文部省学術フロンティア推進事業研究費の一部を使用した。咀嚼実験に参加されたボランティアに感謝する。

文 献

- 1) 河村洋二郎, 堀尾 強: 歯基礎誌, **31**, 281 (1989).
- 2) 岸田典子: 日咀嚼誌, **5**, 21 (1995).
- 3) TZAKIS, M.G., KILIARIDIS, S. and CARLSSON, G.E.: *Acta Odont. Scand.*, **47**, 355 (1989).
- 4) 小野芳明・干 昉・飯島英世・三輪全三・柴田柊樹: 口病誌, **59**, 512 (1992).
- 5) 菅原準二・實 広道・原とも子・藤井智己・三谷英夫・川村 仁・石川久史: 日咀嚼誌, **3**, 67 (1993).
- 6) 塩野幸一・甲斐正子・丸田裕子・旭爪伸二・小椋正: 口腔衛生誌, **36**, 179 (1986).
- 7) 柳沢幸江・田村厚子・寺元芳子・赤坂守人: 小児歯誌, **27**, 74 (1989).
- 8) 塩野幸一・清水久喜・小椋 正・規工川浩: 小児歯誌, **28**, 1036 (1990).
- 9) DUIZER, L.M., GULLETT, E.A. and FINDLAY, C.J.: *J. Sensory Studies*, **9**, 33 (1994).
- 10) MATHEVON, E., MIOCHE, L., BROWN, W.E. and CULIOLI, J.: *J. Texture Studies*, **26**, 175 (1995).
- 11) BRAXTON, D., DAUCHEL, C. and BROWN, W.E.: *Food Quality and Preference*, **7**, 217 (1996).
- 12) BROWN, W.E., LANGLEY, K.R. and BRAXTON, D.: *J. Texture Studies*, **29**, 481 (1998).
- 13) KOHYAMA, K., OHTSUBO, K., TOYOSHIMA, H. and SHIOZAWA, K.: *J. Texture Studies*, **29**, 101 (1998).
- 14) KOHYAMA, K., NISHI, M. and SUZUKI, T.: *J. Food Sci.*, **62**, 922 (1997).
- 15) KOHYAMA, K. and NISHI, M.: *J. Texture Studies*, **28**, 605 (1997).
- 16) YURKSTAS, A. and CURBY, W.A.: *J. Prosthet. Dent.*, **3**, 82 (1953).
- 17) ANDERSON, D.J.: *J. Dent Res.*, **32**, 785 (1953).
- 18) 三浦不二夫・角田正明: 日歯医師会誌, **7**, 293 (1954).
- 19) 坂東永一: 医用電子と生体工学, **7**, 15 (1969).
- 20) 高橋淳子・中沢文子: 家政誌, **38**, 107 (1987).
- 21) MICHAEL, C.G., JAVID, N.S., COLAIZZI, F.A., GIBBS, C.H.: *J. Prosthet. Dent.*, **63**, 549 (1990).
- 22) 神山かおる・畠山英子・小林知子・関 哲哉・滝口俊男・鈴木建夫: 日咀嚼誌, **10**, 41 (2000).

(平成 12 年 3 月 10 日受付, 平成 12 年 8 月 8 日受理)