咀嚼粉碎の対数法則について

On the Law of Logarithmic Order of Mastication

(昭和 36 年 4 月 27 日 受理)

三代 幸彦
(Yukihiko Mishiro)

中山 義之
(Yoshiyuki Nakayama)

The authors have found that equal fractions of the number of raw rice particles are shattered by each successive stroke of an equal count of mastication. The mathematical representation of this statement is

$$N = N_0 \cdot 10^{-kt}$$

or

$$\log\left(\frac{N}{N_0} \times 100\right) = 2 - kt$$

where N_0 is the number of raw rice particle, N is its number after the masticatory stroke (t), and the constant k is the mastication coefficient (masticatory index).

生体における栄養学的・生化学的問題の最初の課程は咀嚼である。その生理化学的意義に関しては不明の点もあるが、最も重要な機能は食物を粉碎して消化管内の通過を容易にし、また、消化酵素の作用面積を増大させることであると考えられている。したがって、咀嚼が可成複雑な因子に支配されているとしても第1近似として粉碎能を取上げることは当をえた方法と考えられる。もちろんこれによって咀嚼の状態を全面的に表現できるわけではないが、現在の段階では咀嚼研究の本筋と目されている。

咀嚼能を粉碎能に置きかえて考察するとして、粉碎の経過は如何なる規則性に基づいて進行しているであろうか。古く Manly (1950-1)¹⁾²⁾ は対数確率法則が成立することを、石原 (1955-6)³⁾⁴⁾ は一定の粒度分布式が成立すること、ならびに咀嚼回数と篩上%との関係は指数函数であらわされることを報告している。ともに優れた業績であり、いずれもいわゆる篩分法による粒度重量分析から導かれている。石原によると健全歯列による咀嚼は任意の単一篩径を用いるだけで全般の粒度分布を知りうるが、病的歯列においては単一篩による測定は全般をあらわさないという。しかし、平均篩径 2.18mm の 10メッシュ篩は各種口腔状態による咀嚼効果の差を検出するには最も敏感であり、単一篩径のみによって測定するにはこのような大篩径のものを用いるがよいと述べている。とくに補綴物の咀嚼効果は大篩径に著明にあらわれているという。

そこで著者らはより単純な考察に基づいて、咀嚼を粉碎をうける粒子数で取扱ってみた。これは大篩径単一篩

分法に類似するものとする。

いま N 個の粒子があって、 dt 回咀嚼することによって $N \cdot dN$ になったとする。粒子の減少する割合が粒子数 N に比例すると仮定すれば、

$$-\frac{dN}{dt} = \alpha N \dots\dots\dots(1)$$

である。ここに α は比例常数である。(1) 式を積分し、 $t=0$ のとき $N=N_0$ の条件を入れると、

$$N = N_0 e^{-\alpha t}$$

常用対数に直して、

$$N = N_0 \cdot 10^{-kt} \dots\dots\dots(2)$$

すなわち、

$$k = \frac{\log N_0 - \log N}{t} \dots\dots\dots(3)$$

また、 N/N_0 の百分率 (a) をとった場合は、

$$a = 100 \cdot 10^{-kt}$$

故に、

$$\log a = 2 - kt \dots\dots\dots(4)$$

が成立するはずである。ただし、咀嚼においては一定咀嚼回数以上では未粉碎の粒子は 0 となり、当然これらの諸式は成立しなくなる。

このことを予め許容した上で、本報告は以上の対数法則がどの程度あてはまるかを実験的に追究したものである。一定数の生米を咀嚼した後にピーカーに吐出し、粘稠な唾液を除くために 2~3 回水洗し、全く粉碎をうけない米粒を数える極めて簡単な方法である。篩分法におけるような唾液による粒子の膨潤や乾燥程度を考慮する必要がなく、極めて手怪迅速に行なうことができる。

実 験 結 果

1) 未粉碎%の測定誤差

計算の便を考へて100粒の生米 ($N_0=100$) を慣用齒列で嚙むとする。生米100粒の重量は約2.1gである。咀嚼回数を10回に規定して同じ実験を10回行い、それぞれの場合に全然粉碎をうけなかった米粒の数を求める。これを未粉碎%とすると52~58%の間に分布し、 $M \pm \sigma = 55 \pm 2.2$ となり、変異係数は4.0%である。

第1表 種々の咀嚼回数 (t) における
未粉碎%の変異係数

t	10	20	30	40
例	%	%	%	%
1	2.3	4.0	5.5	8.5
2	3.3	8.5	12.5	23.6
3	1.1	4.8	19.4	14.1
4	3.8	5.3	12.3	18.2
平 均	2.6	5.6	12.4	16.1

次に4名について10~40回咀嚼したときの未粉碎%の変異係数を第1表にまとめた。一般に咀嚼回数が増すと変異係数は大となる。とくに未粉碎%が30以下の領域では10%をこえるようになる。表中の縦線の向って右側がこれに相当する。未粉碎%が50以上の領域では変異係数は3~4%あるいはそれ以下である。

3) 対数法則適合性の検討

すでに石原は篩上% (対数) と咀嚼回数との間には直線関係のあることを指摘している。³⁾⁴⁾ これを未粉碎% (対数) と咀嚼回数におきかえてみるわけである。

対数法則が成立するか否かを検討するには一般に3つの方法がある。前述の(1)式を直ちに利用して $\frac{\Delta N}{\Delta t}$ と N との関係をしらべる方法は微分法とよばれ、これによって一定勾配の直線がえられればよい。また、後述の半減

第1図 直線的回帰 (対数法則)

期法によっても検討することができる。しかし最もよく用いられるのは積分法であり、(3)あるいは(4)式を利用して咀嚼回数 (t) に対して未粉碎%の対数 ($\log a$) を図示し直線がえられればよい。

10~40 回咀嚼した場合の a を図示したのが第1図である。各群それぞれ観測数は5である。縦軸の値 ($a\%$) の各平均値を求め、その対数値をとったのが図の黒点である。これらは一直線上に配列しているように思われる。最小二乗法によって偏差の最も少ない直線を求めるに、

$$\log a = 1.9979 - 0.0139 t \dots\dots\dots(5)$$

となる。上式から回帰係数 (k) は0.0139である。

この直線的回帰の分散分析の結果を第2表にしめす。分散比は1593で非常に大きく、危険率は0.1%以下であり、直線関係をよく満足している。

第2表 回 帰 の 分 散 分 析

素 因	自由度	平均和	分 散	分散比	P
直線的回帰	1	0.97176	0.97176	1593.04	<0.001
回帰からの偏	3	0.00525	0.00175	2.87	—
任意抽出法 (誤 差)	20	0.01220	0.00061	—	—

さて、回帰係数は最小二乗法で求めるのが最も正確であるが、簡単には算術平均として求めればよい。10~40 回咀嚼したときの各観測値の k を(4)式を変形した

$$k = \frac{2 - \log a}{t} \dots\dots\dots(6)$$

から算出すると $M \pm \sigma = 0.0142 \pm 0.0012$ となり、変異係数は7.9%である (度数=20)。このようにして求めた k 値は(5)式のそれに非常に近く、咀嚼粉碎の経過にはこの場合は、

$$\log a = 2 - 0.014 t$$

の関係があるということが出来る。

4名について上と同様にして k の変異係数ならびに標準誤差を求めると第3表の成績になる。変異係数は平均して約10%である。

第3表 K の 変 異 係 数

例	例 数	$M \pm \sigma$	変異係数 %
1	20	0.0142 ± 0.0012	7.9
2	16	0.0206 ± 0.0030	14.0
3	16	0.0244 ± 0.0020	8.3
4	16	0.0261 ± 0.0025	9.5
平 均			10.1

3) 回帰係数 k の意味

(3)あるいは(6)式で与えられる k は咀嚼回数に t は無関係な値としてえられるから、初期粒子数 N_0 を一定とすればこれによって各人の粉碎能を比較できる。第2図は4名の $a-t$ 関係を片対数表に記したものである。各人の k を直線上に記載してある。 k の高い程粉碎能がよいのである。この意味から回帰係数 k を咀嚼の場合は咀嚼係数とよぶことができる。また当然 k は半減期法によって求めることができる。(3)式において $N = \frac{1}{2} N_0$ になる咀嚼回数を $t_{1/2}$ とすれば

$$k = \frac{\log 2}{t_{1/2}} \quad \text{あるいは} \quad kt_{1/2} = \log 2$$

一般的には $N = \frac{1}{n} N_0$ になる咀嚼回数を t_n とすれば

$$kt_n = \log n \quad \dots\dots\dots (7)$$

である。これは(6)式と全く同じ内容である。後述のように t_n は N_0 に比例し、 k は N_0 に逆比例するから、 kt_n は N_0 に無関係にすべての人に共通の一定値になるわけである。

さて、 k は直観によってこれを理解するのに困難である。初期粒子数 N_0 を一定として、一定の未粉碎%に達するには何回噛まねばならないかで表現した方が理解し易い。第2図において、例えば30%ラインをとれば各人それぞれ 10, 21.3, 26.5, 34.5 回咀嚼する必要がある。逆にこの回数に各人の k 値をかけたものは7式からわかるように $\log \frac{100}{30}$ すなわち $2 - \log 30$ であり、10回を基準にとれば他の人はそれぞれその 2.1, 2.7, 3.5 倍余計に噛まねばならないことがわかる。勿論何%ラインをとってもこの倍数値は同一になる理である。また、(7)式からの当然の帰結として各人の $1/k$ の比もこれと全く同じにならないといけない。実測値でこれを計算すると0.052をそれぞれ 0.024, 0.020, 0.015 で割って 2.1, 2.6, 3.5 となる。ただし、このような各人の比を算出するには各人

第2図 片対数グラフによる各人の $a-t$ 直線

の N_0 は同一でなければならない。

粉碎能をみるには咀嚼回数だけでなく粒子数にも無関係な値であることが望ましい。因みに N_0 と k の関係を片対数表によって図示すると第3図がえられる。 N_0 が 25, 50, 100, 150 粒のとき k はそれぞれ 0.062, 0.033, 0.015, 0.011 である。すなわち、25~150粒の範囲内では kN_0 は一定とみなされる。 kN_0 は咀嚼回数は勿論粒子数にも無関係な個人固有の値であるから、これを咀嚼恒数とよぶことにする。

第3図 初期粒子数 (N_0) による回帰線の変化

考 察

咀嚼によって生米の数が減少する経過はごく狭い一定範囲内では対数確率法則に従っているようにもみえるが、広い範囲をとるとむしろ対数法則により良く支配されている。すなわち、未粉碎の粒子数はある定まった咀嚼回数に対してある定まった割合に減少し、

$$N = N_0 \cdot 10^{-kt}$$

なる(2)式が成立する。ここには N_0 初期粒子数、 N は t 回咀嚼したときの全粒粉碎をうけていない粒子の数である。これを咀嚼の粉碎公式とよび、 $a = \frac{N}{N_0} \times 100$ を未粉碎%, $\frac{N_0 - N}{N_0} \times 100$ を粉碎%, $\log N_0/N = kt$ を粉碎度、 k を咀嚼係数、 kN_0 を咀嚼恒数とよぶことができる。しかし k は t に無関係な個人の値としてえられ、 kN_0 は t と N_0 に無関係な個人固有の値としてえられる。また、一定の未粉碎% (あるいは粉碎%) においては kt は各人に共通の値になる。しかし対数法則もけっして粉碎に本質的なものではなく、一定回数以上咀嚼回数が大きいたるときは $a=0$ となって最早成立しない。また、対数法則に従うと考えて求めた k は変異係数約10% (標準誤差の平均値に対する百分率は2.6%) であり、これ以上の測定精度は無理である。メランジュールによる血球計算における精度と同程度と考えられる。

結 論

- 1) 咀嚼によって全然粉碎をうけない生米の粒子数が減少する過程は対数法則に支配されている。
- 2) 未粉碎%の変異係数は咀嚼回数が増すと大きくなる。
- 3) 咀嚼係数(回帰係数)の変異係数は、各咀嚼回数ものを一括計算して約10%である。平均値に対する標準誤差の百分率は3%以内である。
- 4) 咀嚼係数 k は咀嚼回数に無関係な個有の値としてえられる。

5) 咀嚼恒数 k N_0 は咀嚼回数、初期粒子数に無関係な個人に個有の値としてえられる。ただし、適用範囲は実験的に $N_0=25\sim150$ である。

文 献

- 1) Manly, R. S. & Vinton, P.: *J. D. Res.*, **30**, 314 (1951)
- 2) Manly, R. S. & Braley, L. C.: *J. D. Res.*, **29**, 448 (1950)
- 3) 石原寿郎: 口病誌, **22**, 207 (1955)
- 4) 石原寿郎: 日本歯科評論, No.160, 1 (1956)

(日本歯科大学生化学教室)

蛋 白 欠 乏 児 の ク レ ア チ ニ ン 代 謝

カシオールで入院した9人の6~9才の子供は、入院時クレアチニンの排泄量が極めて少なかったが、治療開始後第1週に、激増した。その増加度は、筋肉量の増加程度以上であった。尿中へのクレアチニン排泄量の増加と反比例して、血清クレアチニン量は減少した。そのために、体表面積1平方mあたりのクレアチニン清掃率は、最初急減し、第1週の終りまでに急増した。

2~6ヵ月治療を続けて、臨床後には全く回復した後

も、血清クレアチニン量は0.46~0.57mg/dlで、16人の栄養可良対象児童が0.78mg/dlであるのにくらべて、著しく低い価を示した。

Serum and Urinary Creatinine in Children with Severe Protein Malnutrition
by G. ARROYAVE et al.

The Amer. Jour. of Clin. Nutr. **9**, 176 (1961)
(小 池)

人 体 組 織 の カ ド ミ ウ ム 含 量

世界各都市の住民の腎臓に含まれるカドミウム量を比較してみると、日本人の値は最も多く、アフリカ人は最も少ない。後者の腎中にはカドミウムを証明できない。新生児の体内にはカドミウムを証明できない。従来カドミウムは毒成分と考えられていたが、その点についても問題がある。腎中カドミウム量は60才までは年令とともに増加し、それから減少する。アメリカ人の腎中含有量は、生臓器中に40mg/kgで、日本人のは、その約2倍である。食物中には、海産物と穀物中に多い。1日の摂

取量は、4~60 μ g/日である。日本人は、米をたくさん食べるので、カドミウム摂取量が多い。

カドミウムが体内生理作用に不可欠のものかどうか、現在不明で、今のところ、組織の活性度に対して、抑制的に働くことが知られているだけである。

Abnormal Trace Metals in Man: Cadmium
by Henry A. Schroeder, et. al.,
Journ. of Chro. Dis. **14** (2), 236~258 (1961)
(小 池)