東京湾産コウイカ *Sepia esculenta* HOYLE の 甲の成長について

八 木 貞 二

(1960 年 4 月 12 日受理)

ON THE GROWTH OF THE SHELL IN *SEPIA ESCULENTA* HOYLE CAUGHT IN TOKYO BAY.

Teiji YAGI*

Some biometric studies were made on the growth rate of the shell and the striped pattern found on the ventral surface of the shell in *Sepia esculenta* HOYLE, by using 148 specimens and 36 specimens just after hatching caught in Tokyo Bay.

1) The age of *S. esculenta* in Tokyo Bay could be determined by the date of hatch around July 1st. In case it does not give any date, the number of stripes is preferable to the shell length for age determination, because the coefficient of variation of the former is smaller than that of the latter in its value.

2) When the shell length was plotted against its age in days, the growth curve of the shell could be represented by the equation of an autocatalytic monomolecular reaction: sigmoid growth formula. The obtained equation (2) gave the maximum velocity of the shell growth to the specimens around 100 days of age (early October).

3) A sigmoid growth curve composed of two cycles (equation (5)) was found to give the best results when applied to Fig. 3, where the number of stripes was plotted against its age in days. From the equation, the period forming a stripe was deduced to be about 1.5 days at the first maximum and to be about 3.5 days on an average through the life. However the second maximum at 230 days of age was rather vague. It may be a remarkable fact that the forming period of the stripes has not any constant value during the growth term.

4) Plotting the shell length against its number of stripes, Fig. 3 was represented by the equation (6): the sigmoid growth curve with a maximum velocity of shell growth at 72 in number of stripes.

When a median longitudinal section of a shell was prepared, we could easily trace the length of shell and the number of stripes left in the shell at various stages of growth. And the growth curve of shell deduced, in this way, from several specimens out of the whole gave an equally satisfactory agreement with Fig. 3. Thus, we can easily apply the method without serial specimens caught in the whole fishing season. Therefore it is thought that the method and the resulting curve of shell growth will be useful to make a standard of comparison among races of the cuttlefish.

緒 言

コウイカの甲は極めて成長が早く、また明瞭な縞構造からできている点で軟体動物の硬組織の成長の研究上好適な材料であると考えられる。また甲の形態は分類学上からも重要視されているが、その形態成長に関する研究は極めて少なく、わずかに APPELLÖF (1893)¹⁾ および安田 (1951)²⁾ の報告で簡単な記載が行われているにすぎない。

* 東京大学農学部, 東京医歯科大学医学部 (Fac. Agr., Univ. Tokyo & Fac. Med., Tokyo Medical Dental Univ.).

筆者は甲の成長様式を推定 age および 縞数を以て追跡することを試み、また縞模様形成速度および周期について二、三の知見を得たので結果を報告する。

材料および方法

用いた材料は 1953~1954 年および 1957~1958 年にわたる漁期に漁獲された東京湾産コウイカ *Sepia esculenta* HOYLE 148 個体で、同一漁獲群毎に甲長および縞数の資料を Table 1 に示した。また孵化直後の甲長および縞数は 1958 年木更津において得られた 36 個体の標本により求めて計算資料とした。

甲長測定は甲後端にある棘基部より先端部の無輪帯 (last locular) 外縁に至る長さを以て表わし、キチン縁および棘は乾燥により収縮または毀損し易いので除外した。測定はノギスを用い 0.1 mm 単位で行った。また縞数は棘基部に埋没している孵化前に形成された部分をも含めて全数を数えた。

Table 1. Shell length and number of stripes found on the ventral surface of *Sepia esculenta* HOYLE.

Age in days*	No. of specimens	Shell length			No. of stripes		
		Range (mm)	Average (mm)	C. V.** (%)	Range	Average	C. V.*** (%)
42	2	25~34	29.45	23.3	30~31	30.50	2.3
66	10	43~56	49.54	10.1	42~51	45.80	6.2
96	14	59~101	74.42	13.9	58~75	64.29	6.7
102	5	47~106	79.60	32.4	53~81	66.60	14.8
122	3	69~89	74.67	7.6	65~79	68.33	4.4
123	8	77~117	94.95	15.3	68~84	75.00	8.1
138	10	67~122	98.00	15.8	66~83	78.10	7.1
148	2	108~118	113.00	6.3	74~81	77.50	6.4
160	13	89~136	112.77	13.1	71~91	83.46	7.0
172	6	123~143	128.50	6.2	84~96	90.83	5.6
178	5	104~123	115.60	6.8	85~87	82.60	1.0
190	6	106~134	114.17	9.2	84~96	89.83	5.1
194	6	100~122	110.50	2.4	87~96	90.17	3.7
198	4	113~143	128.50	10.3	89~94	91.00	2.7
201	6	108~128	118.50	6.3	83~93	88.67	4.3
215	4	97~128	113.00	11.5	79~90	85.25	5.7
235	7	129~165	144.29	10.0	94~104	100.43	3.4
260	3	134~152	145.33	6.8	95~105	99.33	5.3
291	3	146~158	152.33	4.0	106~115	110.67	4.1
305	10	104~162	129.80	14.0	92~113	104.00	6.0
326	7	109~173	139.00	13.8	104~114	107.71	3.0
332	9	142~166	156.22	5.4	108~119	110.11	3.1
347	5	104~135	123.00	9.6	102~110	105.20	3.5

The shell length and the number of stripes at 0 day of age were observed as the average of 4.2 mm (C.V. = 6.7%) and 7.0 (C.V. = 8.2%) from 36 hatching individuals.

* Age was determined by the date of hatch estimated. ** The average is 11.06%.

*** The average is 5.20%. C.V.: Coefficient of variation.

結果および考察

甲長および縞数の雌雄差について同一漁獲群内で比較してみると、二、三の群の場合は 95% 水準で有意差が認められたが、その差に一定の傾向がなく、大部分は雌雄の間に差を認めるに十分な標本数ではなかった。従つて本報告では雌雄を区別せずに扱った。

I. age の査定

1) 漁獲月日による方法: 自然環境下におけるコウイカの孵化は短期間に集中して起ると考えられているので^{2),3)}、孵化月日を推定すれば寿命が 1 年以内のコウイカの age は漁獲時までの経過日数で表わすこ

とができる。東京湾産コウイカの孵化月日は、木更津市桜井沖における活簀飼育によつて得られた観察結果*に従つては7月1日を中心とする短期間であると推定した。以後本報告中の age はすべて7月1日に孵化したものとして算出した推定 age を用いた。

Fig. 1. Growth curve of the shell plotted against the age in days.

x : shell length in mm.

t : age in days, in the equation.

$\times$: average value from 36 hatching individuals.

字状成長曲線式にあてはめることができる。ここでは ROBERTSON⁴⁾に従つて次式の各恒数を求めた。

$$\log_{10} \frac{x}{A-x} = K(t-t_1) \quad (1)$$

ここに、 x は甲長 (mm), A は甲長極限值, t は age (日令), t_1 は $x = \frac{1}{2}A$ のときの t , K は成長速度恒数である。

Table 1 および Fig. 1 に示した資料によつて A を推定し、計算によつて次式を得た。

$$\log_{10} \frac{x}{141-x} = 0.0098(t-99) \quad (2)$$

この回帰式による計算値と実測値との偏倚度を Q とすれば、

$$Q_2 = \pm \sqrt{\frac{\sum n_i (S_i - S_i')^2}{\sum n_i - 1}} = \pm 9.4$$

であつた。ここに、 S_i , S_i' および n_i はそれぞれ同一漁獲群毎の平均甲長で表わした実測値とそれに対応する計算値および標本数である。

得られた回帰式によれば、甲長の伸長速度は孵化後約 100 日、すなわち 10 月上旬で最大となり、そのときの甲長は約 70 mm, また 1 日の増加量は約 1.5 mm であつた。

III. 縞数と age との関係

縞数と age との関係を Table 1 によつてプロットしたのが Fig. 2 である。これによれば縞数は age に伴つて増加するが、両者の関係は曲線に回帰するものと考えられる。すなわち、孵化後 100 日より 300 日の間では指数型成長曲線によくあてはまり、次式を得た。

$$t = 18.4 \times 1.03^y \quad (3)$$

ここに、 t は age (日令), y は縞数を表わす。しかし全成長期間を通してみると、両者の関係は S 字状成長曲線で表わすことが適当であり、つぎの二つの場合が考えられる。すなわち (1) 式を適用して全体を曲線

2) 縞数による方法: Table 1 に示したごとく、同一漁獲群毎の縞数と甲長の変動係数を比較すると、縞数では平均 5.2% であり、甲長では平均 11.1% であつた。従つて縞数は age 形質として甲長よりも優位であると考えられる。故に漁獲月日が不明で 1) の方法が適用できない場合は、甲長よりも縞模様の縞数によつて age を査定する方が適当である。しかし後述するように縞数と age との関係を考慮する必要があるので、この方法は特に相対的に age を比較する場合に好適であると考えられる。

II. age に伴う甲長の伸び

甲長と age との関係をプロットすれば、Fig. 1 の通りである。図に示したごとく両者の関係はほぼ自触一分子反応式すなわち S

* 未発表

Fig. 2. Increase in the number of stripes with the age in days, showing several equations applied to the result.

y : number of stripes, t : age in days, in the equations.

$\times$: average value from 36 hatching individuals.

$\bullet$: average value from several individuals of each batch.

式の一サイクルとして扱った場合はつぎの式を得た。

$$\log_{10} \frac{y}{112-y} = 0.0084(t-82) \quad (4)$$

また全体を二サイクルとして扱った場合はつぎのごとくであつた。

$$\left. \begin{aligned} \log_{10} \frac{y'}{82-y'} &= 0.0151(t-59) \\ \log_{10} \frac{y''}{30-y''} &= 0.0090(t-230) \\ y &= y' + y'' \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

ここに、 t は age を、 y , y' , y'' は縞数を表わす。

得られた (4), (5) 式を比較するならば、一サイクルとみなしたときの (4) 式は age 200 日附近で実測値の 99% 母集団信頼限界を超えた計算値を与え、また計算値と実測値との偏倚度は、それぞれ $Q_4 = \pm 8.6$ $Q_5 = \pm 3.0$ であつた。従つて (5) 式は (4) 式よりこの場合の回帰式として優位であり、age に伴う縞数の増加曲線は二つの S 字状曲線の合成として表わすのが最も適当と思われる。

(5) 式によつて縞数と age との関係をみると、8 月末より 9 月始めにかけて縞の増加速度は最大となり、以後増加速度は減少する。本報告で扱った材料に関しては、縞の増加速度の最大値は 1 日に約 0.7 本で、またそのときの age は約 60 日、縞数は約 40 であつた。同様に縞の形成周期についてみれば孵化直後で約 2.0 日、最も形成の早いときは約 1.5 日、成長後期には形成が衰えて 4 月中旬ではその周期は約 9 日であつた。また全成長期間を通して平均形成周期は約 3.5 日であつた。曲線の第二のサイクルの極大値は age 約 230 日に現われるがあまり顕著ではなかつた。

ところで、同一の材料を用いて導いた二つの式 (5) および (2) による結果で、縞数の増加速度の最大となるのは約 60 日であつたのに対し、甲長の伸長速度の最大となるのは約 100 日であつた。これは縞数の増加と甲長の伸びの同一でないことを示しているが、甲の構造からみれば、甲長の伸びは縞の形成速度、縞の疎密および無輪帯長等の要因によつて速度が決まるものであつて、両者の相違はコウイカ甲の構造上の特徴を表わすと考えられる。

以上のごとく縞数と age との関係は直線ではなく曲線に回帰し、縞数は S 字状曲線に従って増加することがわかった。かように縞模様の形成周期が一定ではなく、各成長期によつて変化することは注目すべき事実であると考えられる。一般に生体の硬組織にみられる縞模様は、大部分の無脊椎動物および脊椎動物において、定周期的な増加をするものであり、age との関係は直線を以て表わされるのが普通である。ただ魚類の鱗にみられる circuli の形成周期は一定でないことが知られており、これは温度および栄養状態の影響によるとされている⁵⁾。コウイカの場合も、縞模様の形成様式がかように特徴づけられていることは興味あることと考えられよう。APPELLÖF¹⁾ はコウイカ甲の縞模様が一定の周期で形成されるとしたが、これは単なる観察による推定であつて適当ではないと考えられる。

また縞模様の増加曲線が顕著ではないが二つのサイクルの S 字状曲線から成り立っていたことも興味あることである。従来^{4), 6), 7)}、多くの哺乳類および鳥類などにおいて、age に対する体重の増加曲線は 2 乃至 3 サイクルの S 字状曲線から成り立っていることが知られている。しかし、本報告のように硬組織の縞模様においてかようなことは未だ知られていないことである。前述したごとく、コウイカでは縞模様の形成周期が一定ではなく、また温度等環境要因の影響によつて変化するものであるから*、何らかの新たな要因の支配によつて、第二のサイクルを現わしたという可能性も考えられよう。しかし、これらについてはなお将来の研究にまたねばならない。

IV. 縞数の増加に伴う甲長の伸び

1) 周年的調査資料を用いた方法: すでに縞数は age 形質として信頼性の比較的高い形質であることを述べた。そこで age の代りに縞数を基準として甲の成長曲線を求めることを試みた。

148 個体の標本を縞数 5 本毎の区画によつて階級化し、それによつて甲長資料を示したのが Table 2 である。これによれば変動係数は平均 11.6% であつて、すでに示した age を基準としたときの甲長の変動係

Table 2. Shell length classified by the number of stripes.

No. of stripes**	No. of specimens	Shell length			C.V.*** (%)
		Range (mm)	Average (mm)		
30	2	25 34	29.45	21.6	
35	..	..	..	..	
40	..	..	..	..	
45	8	43 56	47.88	8.4	
50	3	47 56	53.13	10.0	
55	..	..	..	..	
60	5	73 79	70.76	10.8	
65	11	58 99	74.28	16.6	
70	9	73 98	81.47	10.8	
75	7	86 108	95.90	9.7	
80	12	94 122	105.48	8.8	
85	23	103 136	116.27	7.7	
90	17	100 143	116.94	9.1	
95	10	116 143	128.60	6.9	
100	9	104 165	136.44	14.3	
105	13	108 162	138.92	12.3	
110	15	121 166	146.13	9.4	
115	3	121 173	146.67	17.7	
120	1	..	162	..	

** Each value represents two stripes before and behind.

***The average is 11.61.

C.V.: Coefficient of variation.

数 (Table 1) とほぼ等しいが、成長早期では小さい値であつた。従つて甲長の成長曲線を追跡する場合の基準として、縞数は適当なものであると考えられる。

縞数の増加に伴う甲長の伸びを表わしたのが Fig. 3 である。両者の関係は S 字状成長曲線にあてはめるのが最も適当

Fig. 3. Growth curve of the shell length plotted against the number of stripes.

x: shell length in mm, y: number of stripes, in the equation.

x: average value from 36 hatching individuals.

* 八木貞二: 昭和 34 年, 日本水産学会春期大会において発表。

と思われ、(1) 式によつてつぎの回帰式を得た。

$$\log_{10} \frac{x}{175-x} = 0.0195(y-72) \quad (6)$$

ここに、 x は甲長 (mm), y は縞数を表わす。これによれば甲長増加速度の最大となるときは縞数 72 であつた。安田²⁾によれば縞数は甲長に正比例して増加するとだけ簡単に述べられているが、図からも明らかのように両者の関係を直線で表わすことは適当ではないと思われる。また図により甲長の極限値を 175 mm としたが、この値は age との関係より導いた 141 mm (Fig. 1) と比較してかなり大である。これは age と直線関係にない縞数を横軸にとつたために、曲線は Fig. 1 に比して直線に近い形に変形されたからである。従つて甲長と age との関係を表わす (2) 式とここに得られた (6) 式とを同基準で比較することのできないのは当然である。しかし、この甲長と縞数との関係は age 資料を用いていないので、つぎのごとき便法によつても求めることができ、甲の成長曲線として特に有用な表現法であると考えられる。

2) 同一個体から得られる資料を用いる方法: 1) の方法は周年的調査の資料を必要とするものであるから、多くの標本群について甲の成長曲線を比較する場合の調査は必ずしも容易ではない。従つて周年的調査によらず、一時期の比較的少数の標本のみで全成長期間の甲の成長を追跡し得る方法があれば有利であると考えられる。そこで成長後期の個体の甲を用いて、その甲内に埋没している縞模様から過去の成長経過を追跡することを試みた。

まず、コウイカ甲は形成後に形態上の変化を起すものであつてはならないので、その点を確認した。すなわち同一産地の標本において、幼若個体の縞の間隔は成体のそれに相当する部分の縞の間隔と差が見出せなかつたこと、age の異なる個体から、つぎに述べる方法で得られた縞と甲長との関係を表わす曲線は対応する部分で重なり合うことなどを確認し、甲は第二次的成長または吸収などによつて形成後に形態上の変化をすることはないと考えた。

同一個体に記録された甲長と縞数との関係を求めるためには、前報⁸⁾で述べた過去の室率を追跡する場合と同様に、甲の正中縦断標本を作り、断面に見られる縞模様について、後端の棘基部にある最初の縞より数えて 10 本目毎に、その層の形成されたときの甲の長さを前述の甲長測定の方法と同様に測定した。これによつて得られた資料から各個体の甲長の伸びを、縞数を基準として追跡することが可能であり、(6) 式によつて表わされる曲線と同型の成長曲線が得られた。いま、11 月より翌年 5 月に至る間に漁獲された縞数 83~113 を有する任意の 6 個体を選んで、さきに周年的資料より求めた成長曲線と比較した。6 個体は全標本の成長曲線 (Fig. 3) からの甲長偏差が曲線の両側にはほぼ等分に分布するように選んだものである。これによつて求められた各個体の成長曲線を平均すれば、(6) 式とかなり高い一致性がみられ、偏倚度は ± 2.9 であつた。従つてこの方法は縞数を基準とした甲の成長曲線を求める手段として有効であつて、しかも周年的資料を用いることなしに成長後期の少数個体のみで目的を達し得るので極めて便宜な方法であると考えられる。

またさらに、前報で述べた成長に伴う室率の変化様式の比較と同様に、この方法によつて得られる甲の成長様式の比較は種族判定上有意義であると考えられる。

要 約

ほぼ周年にわたつて得られた東京湾産コウイカ 184 個体を用いて、甲長および甲にみられる縞模様の成長を追跡した。

1) コウイカの age は群全体の孵化月日を推定して、漁獲月日までの経過日数で表わすことができる。また甲を用いて age を査定する場合は、縞数が甲長よりも age 形質として優れていると考えられる。

2) 甲長の伸びは age を基準として表わすと、つぎの S 字状成長曲線にあてはめることができた。

$$\log_{10} \frac{x}{A-x} = K(t-t_1)$$

(x は甲長 (mm), t は age (日令), A , K , t_1 はそれぞれ恒数を表わす)。

それによれば、甲長速度が最大となるのは 10 月上旬であつた。

3) 縞模様は age に伴つて縞数を増し、age を基準とすれば二つの合成された S 字状成長曲線が最もよく適合した。すなわち縞の形成速度および周期は一定ではなく、各成長期によつて変化するものである。また縞の形成速度の最も大となる時は 8 月末から 9 月初めで、そのときの形成周期は約 1.5 日、また全成長期の平均は約 3.5 日であつた。

4) 甲長の伸びを縞数を基準として表わせば S 字状曲線で表わされ、伸長速度の最大となるときの縞数は 72 であつた。この関係は周年的調査によらなくても、成長後期の標本のみで、甲の正中縦断面から求められる。従つてこの成長曲線は種族等の比較上有用であると考えられる。

終りに御指導御助言を賜つた東京大学末広恭雄教授、東京医科歯科大学岡田正弘教授並びに東京大学日比谷京助教授に厚く感謝の意を表するとともに、材料の入手および飼育に御援助を頂いた東京水産大学木更津実習場片田実助教授、杉浦靖夫氏並びに標本を提供して下さつた東京大学岩井英次氏に併せて厚く感謝します。

文 献

- 1) APPELLÖF, A.: Kongl. Svenska Vet. Akad. Handl., 25, 7, 1~50 (1893).
- 2) 安田治三郎: 本誌, 16, 350~356 (1951).
- 3) 山本孝治: 植物及動物, 10, 123~130 (1942).
- 4) ROBERTSON, T. B.: The Chemical Basis of Growth and Senescence. Philadelphia, (1922).
- 5) 檜山義夫: 水産学会報, 8, 105~115 (1940).
- 6) BRODY, S.: Jour. Gen. Physiol., 3, 623~633 (1921).
- 7) ————: Jour. Gen. Physiol., 3, 765~770 (1921).
- 8) 八木貞二: 本誌, 26, 640~645 (1960).