エゾバフンウニの殻板成長線の形成と餌料海藻

瀧

襄

(1978 年 3 月 13 日受理)

Formation of Growth Lines in Test Plates of the Sea Urchin,
Strongylocentrotus intermedius, Reared with Different Algae

Jyo TAKI*

Effects of ingested food stuff on the formation of growth lines in test plates of the sea urchin, *Strongylocentrotus intermedius*, were studied with the aid of tetracycline labelling. From November, 1969, to the following April, sea urchins were reared in three aquaria, each of which contained a different alga, *Laminaria japonica* var. *ochotensis*, *Rhodoglossum japonicum* and *Ulva pertusa*, respectively. Tetracycline injections were made through the peristomial membrane in December and March.

Those fed *Laminaria* showed higher value in 1) amount of food ingested, 2) amount of food assimilated and 3) assimilation efficiency and the highest growth rate of the test plate was obtained in this group. The growth was observed as a pigmented zone bordered on both sides by a fluorescent tetracycline band parallel to the longitudinal suture. No such sharp pigmentation pattern was observed in the other groups fed on *Rhodoglossum* and *Ulva*.

The growth lines were clearly observed between apical and ambitus regions of the test which showed the highest growth rate in the test plates, while they were not clear on the test plates of oral region in the same individuals.

The growth rate of the test plate correlated with the amount of food assimilated, and the clarity of the growth lines was affected by the growth rate of the test plate.

一般に生物の成長は摂取した栄養の同化と異化作用の結果を反映するものであり、脊椎骨、耳石、歯、貝殻などの生物硬組織にみられる成長線はこれらの作用の周期的な変化に応じて形成されるものと考えられる。ウニ類の摂餌と体成長にともなう殻板および口器の成長線の形成との関係については DEUTLER¹⁾、久米²⁾、MOORE^{3,4)}、川村^{5,10)} および JENSEN⁶⁾ の研究がある。また、食性、成長、摂餌については大島⁷⁾、SWAN⁷⁾、FUJI⁸⁾ および角田⁹⁾ により報告されている。しかし、摂取する海藻の種類と量が成長線の形成と、どのような関係にあるのかについてはほとんど明らかにされていない。著者は前報^{10,11)} で殻板および口器の成長線が冬期間に形成される、いわゆる冬輪であることを明らかにし、その形成機序については摂餌する海藻の種類と、殻板成長との関係からの検討が必要であると報告した。今回は殻板の成長と殻板成長線の形成が摂餌する海藻の種類と量にいかに関与されるかを確かめるために、テトラサイクリン標識法を用いて飼育実験を行なったので報告する。

本文に入るに先立ち、ご指導とご校閲を賜りました

北海道大学水産学部山田寿郎教授、北海道立函館水産試験場長結城伍博士、実験にご援助を頂いた北海道立釧路水産試験場田沢伸雄博士、同稚内水産試験場富田恭司氏の方々に深甚なる謝意を表する。

材料と方法

殻径 3~5 cm、重量 20~50 g の稚内産エゾバフンウニ (*Strongylocentrotus intermedius*) を 13 個体ずつ 3 グループに分けて実験室内の水槽に収容し、1969 年 11 月より翌年 4 月まで飼育した。その間時刻標示のため 12 月 8 日と翌年 3 月 10 日の 2 回、蒸留水に溶かした 0.05% テトラサイクリンを 1 回につき体重 1 kg 当り 100 mg の割合で、咽口膜を通して体腔内に注射した。飼育水の温度調節はとくに行なわず、水温は飼育期間を通して 0.5~3°C の範囲にあつた。餌は水槽に収容後 8 日目から投与を開始し、褐藻類のリシロコンブ (*Laminaria japonica* var. *ochotensis*)、紅藻類のアカバギナンソウ (*Rhodoglossum japonicum*)、緑藻類のアナアオサ (*Ulva pertusa*) を、それぞれ 3 つのグルー

* 北海道立釧路水産試験場 (Hokkaido Kushiro Fisheries Experimental Station, Hama-cho, Kushiro, Hokkaido 085, Japan).

ブに十分量与えた。そして、それぞれをコンブ・グループ、ギンナンソウ・グループ、アオサ・グループとした。また、これらのグループの摂餌量および同化量は FUN⁹⁾ にしたがって求めた。2回のテトラサイクリン投与によつて知られる12月より翌年3月までの間の殻板成長量を前報¹⁰⁾にしたがい、殻の縦、横両断面ならびに正接面の3方向より測定した。殻板各部位の名称は時岡¹²⁾および HYMAN¹³⁾ によつた。

結 果

殻板成長線の観察

1. 殻の正接方向断面の観察：各グループの個体について、歩帯板の孔帯と間孔帯、間歩帯板の中央辺と歩帯辺の、それぞれの縦縫合上には乳灰白色を呈する天然螢光線がみられた (Fig. 1, LN)。各殻板中には縦縫合に近接して、これと平行に走る2本の黄金色を呈する螢光線がみられ (Fig. 1, FL₁, FL₂)、これらの黄金色の螢光線はそれぞれ12月と翌年3月に投与したテトラサイクリンによるものである。したがって、2本の螢光線にはさまれた部分が12月より翌年3月までの92日間の殻板成長部位に相当する。

同一切片を通常の反射光線で観察すると、コンブ・グループのウニでは2本のテトラサイクリン螢光線のうち、外側の FL₂ 寄りの部位、すなわち、3月の螢光線附近に色素の沈着により形成された輪紋状の成長線がみられた (Fig. 2, 矢印)。ギンナンソウおよびアオサ・グループの個体においても同様の構造が認められるが、コンブ・グループの個体に比べて不明瞭である。一般に、成長線は同一個体においても比較的成長の盛んな殻の頂上附近より赤道部までの殻板でより明瞭であり、赤道部より口極側に近づくにしたがつて不明瞭になる傾向が認められた。

2. 殻の縦 (垂直) 方向断面の観察：各グループの個体の歩帯板、間歩帯板とも、とくに頂上附近の殻板において、上下の横縫合と内側表面に沿った部位に明瞭に分離した2本の螢光線がみられた (Fig. 3, FL₁, FL₂)。その間隔は殻板が口極側に近づくにしたがつて次第に狭くなり、囀口部周辺の殻板では全く分離しない1本の幅広い螢光線となつていた。殻板の外側表面には螢光線は認められなかつた。

同一切片の通常光線による観察では、各グループのウニとも殻板横縫合に沿った部位および内外両表面の何れにも成長線はみられなかつた。

3. 殻の横 (水平) 方向断面の観察：歩帯板、間歩帯板の縦縫合に沿った部位に、コンブ・グループの個体では間隔が広く、ギンナンソウおよびアオサ・グループの個体では間隔の狭いそれぞれ2本に分離したテトラサイ

クリン螢光線がみられた。また、内側表面に沿った部位では各グループの個体とも縦 (垂直) 方向断面からの観察と同じく、頂上附近の殻板にのみ分離した2本のテトラサイクリン螢光線がみられた。なお、正接方向断面からの観察と同じく、縦縫合には乳灰白色を呈する天然螢光線がみられた。

同一切片を通常光線で観察すると、コンブ・グループの個体のみ殻板縦縫合に沿った部位に明瞭な成長線がみられ、ギンナンソウおよびアオサ・グループの個体では成長線は不明瞭であつた。

以上の結果より、12月から3月までの冬期間にリンリコンブを摂食した個体の殻板には、いずれの方向からみても明瞭な成長線が3月頃に形成され、アカバギンナンソウ、アナアオサをそれぞれ与えられた個体の殻板には、不明瞭な成長線しか形成されないことがわかつた。

殻板の成長 殻の縦軸に沿つて、殻板を頂上から口極までおよそ5つの部域に分け、1969年12月の殻板の大きさに対する、その後翌年3月までの成長帯の大きさの割合をそれぞれ縦、横両縫合に沿った部位、内側表面に沿った部位について別々に求めた (Table 1)。ギンナンソウ・グループの個体において、頂上附近の殻板の横縫合に沿った部位の成長率が他のグループよりも高いのを除いて、ウニ殻全体では歩帯板、間歩帯板の縦、横両縫合に沿った部位ならびに内側表面に沿った部位のいずれの成長とも、コンブ・グループの個体がギンナンソウ、アオサ両グループの個体よりも良かつた。また、各グループとも歩帯板、間歩帯板の縦縫合に沿った部位の成長率は頂上と赤道部との中間附近で最も高く、頂上附近がこれに次ぎ、赤道部より口極に近づくにしたがつて低くなつていた。これは前報¹⁰⁾で得た結果と同様である。横縫合に沿った部位については各グループとも歩帯板、間歩帯板の頂上附近の成長が最もよく、口極に近づくにしたがつて減少するか、または、全く成長していないかつた。内側表面に沿った部位ではコンブ・グループの個体の間歩帯板で、頂上と赤道部との中間附近の成長が良いのを除くと、各グループとも前記横縫合に沿った部位の成長と同じ傾向を示した。成長率は頂上附近で最も大きく、口極に近づくにしたがつて減少していた。

摂餌量、同化量ならびに同化効率 1969年12月より翌年3月までの間の各グループの個体の体重1kg当りの月別日間摂餌量、同化量ならびに同化効率を Table 2 に示した。コンブ・グループでは体重1kg当りの摂餌量、同化量ともギンナンソウ、アオサ両グループに比べて明らかに大きい。また、摂餌量に対する同化量の割合を同化効率としてあらわすと、コンブ・グループでは摂餌量の74%から86%が同化されているのに対して、ギンナンソウ・グループでは27%から40%、アオサ・

Table 1. Growth rate of test plate of sea urchin fed on different alga in three months, December 1969 to March 1970

Group	<i>Laminaria</i>					
	Interambulacral plate			Ambulacral plate		
	longi. suture	lati. suture	thickness	longi. suture	lati. suture	thickness
Apical system and adjacent area	0.495±0.098	0.116±0.035	1.442±0.840	0.137±0.088	0.794±0.062	0.181±0.066
Between apical and ambitus regions	0.752±0.087	0.039±0.004	2.368±0.952	0.682±0.134	0	0.102±0.025
Ambitus region	0.299±0.077	0	1.224±0.751	0.055±0.011	0	0.111±0.007
Between ambitus and oral region	0.135±0.090	0	1.348±0.453	0	0	0
Marginal plate	0.035±0.011	0	0	0	0	0
Group	<i>Rhodoglossum</i>					
	Interambulacral plate			Ambulacral plate		
	longi. suture	lati. suture	thickness	longi. suture	lati. suture	thickness
Apical system and adjacent area	0.194±0.074	0.126±0.033	0.422±0.111	0.033±0.002	1.897±0.088	0.371±0.032
Between apical and ambitus regions	0.267±0.113	0	0.190±0.043	0.077±0.003	0	0.210±0.009
Ambitus region	0.102±0.052	0	0.222±0.021	0.030±0.004	0	0.140±0.022
Between ambitus and oral region	0.047±0.008	0	0.222±0.013	0	0	0.089±0.007
Marginal plate	0	0	0.222±0.022	0	0	0.067±0.004
Group	<i>Ulva</i>					
	Interambulacral plate			Ambulacral plate		
	longi. suture	lati. suture	thickness	longi. suture	lati. suture	thickness
Apical system and adjacent area	0.074±0.002	0.381±0.044	0.445±0.075	0.084±0.003	0.595±0.056	1.177±0.087
Between apical and ambitus regions	0.203±0.015	0.070±0.001	0.296±0.031	0.190±0.025	0	0.222±0.003
Ambitus region	0.085±0.004	0	0.296±0.012	0.039±0.002	0	0.267±0.011
Between ambitus and oral region	0.030±0.001	0	0.344±0.012	0.018±0.001	0	0.256±0.013
Marginal plate	0.048±0.001	0	0.167±0.017	0	0	0.296±0.012

All figures show an average growth rate ($\pm$ standard deviation) of the longitudinal, latitudinal sutures and thickness (inner surface) in the test plates of ten specimens.

Table 2. Daily amount of food eaten and assimilated by sea urchin reared on different alga

Group	Food utilization	December	January	February	March
<i>Laminaria</i>	Ingested (g in dry weight/kg body weight/day)	380	781	982	614
	Assimilated (g/kg/day)	280	647	841	502
	Assimilation efficiency (%)	73.7	82.8	85.6	81.8
<i>Rhodoglossum</i>	Ingested (g in dry weight/kg body weight/day)	176	203	246	213
	Assimilated (g/kg/day)	48	81	100	77
	Assimilation efficiency (%)	27.3	39.9	40.7	36.2
<i>Ulva</i>	Ingested (g in dry weight/kg body weight/day)	280	155	75	236
	Assimilated (g/kg/day)	100	56	23	93
	Assimilation efficiency (%)	35.7	36.1	30.7	39.4

グループでは 31% から 39% であった。すなわち、リシリコンプはアカバギンナンソウ、アナアオサよりもより多く摂取され、しかも高い同化効率を示した。

考 察

ウニ類の体成長は餌料となる海藻の栄養価、摂取する海藻の種類によつて異なり、摂餌量も個体の大きさ、生殖腺の発達状態、水温の変化と関連していると報告されている⁸⁻⁹⁾。

一般に摂餌の質的量的な差異はウニ類の生息場所の環境条件によつて異なるであろうが、本実験においては餌料以外は同じ実験条件下で行なわれた。その結果、リシリコンプを摂取した個体の殻板成長率、摂餌量、同化効率が他の海藻を摂取した個体よりも高く、殻板成長線もより明瞭に形成された。エゾバフンウニはいずれの餌料海藻種に対しても機会的に摂食するので²⁰⁾、摂餌量に差を生じた原因の一つは口器の構造と捕食機構との関連で、摂取する海藻の形態による「食べ易さ」、すなわち、摂餌能率²¹⁾の高低によると考えられる。本実験の行なわれた冬期間はウニ殻の成長期で^{8,14,20)}成長線の形成される時期でもある¹⁰⁾。しかも、この期間はウニ体内に取り込まれた栄養物質の大部分が殻の成長に向けられると言われている^{8,14,16,20)}。したがって、リシリコンプを与えられた個体ではその高い摂餌能率のため摂餌量が多くなり、同化効率もよいので殻板成長率が他の海藻を投与した個体よりも高くなつたと考えられる。

一方、アカバギンナンソウ、アナアオサをそれぞれ投与された個体では、海藻の葉体がリシリコンプよりも薄いので摂餌能率が悪くなり、摂餌量も少なく、その上、同化効率も低いので殻板成長率が低くなつたと考えられる。

殻板成長線の形成は同一個体においても、成長率の高い頂上と赤道部との間の殻板において明瞭であり、成長率の低い口極周辺の殻板では不明瞭である^{10,11)}。すなわち、殻板成長率と成長線の明瞭度とは密接に関連していると考えられる。

殻板成長線は色素の沈着により形成されるが、ウニ殻には多くの色素が存在しているので¹⁷⁻¹⁹⁾、どのような色素がどのような径路と機構で成長線を形成するに至るのか確かめる必要がある。

要 約

1. 稚内産エゾバフンウニを 13 個体づつ 3 グループに分けて水槽で飼育し、それぞれのグループにリシリコンプ、アカバギンナンソウ、アナアオサを餌として与えた。1969 年 12 月と翌年 3 月にテトラサイクリンを用いて殻板に時刻標示を行ない、殻板成長線の形成および

殻板成長に及ぼす影響を調べた。

2. リシリコンプを摂取した個体では殻板成長線は他の海藻を摂取した個体よりも明瞭に認められた。また、リシリコンプを投与された個体の摂餌量、同化量ならびに同化効率はいずれも他のグループにおけるよりも高く、殻板成長率もつとも高かつた。

3. 殻板成長線の形成は同一個体においても、成長率の比較的高い頂上より赤道部までの殻板において明瞭であり、成長率の低い口極附近の殻板では不明瞭であつた。

4. 摂取した海藻の同化量は殻板成長率に影響し、これが殻板成長線の明瞭度に関係していると考えられる。

文 献

- 1) F. DEUTLER: *Zool. Jahr. Abt. Anat. Ont. Tier*, **48**, 119-200 (1926).
- 2) 久米又三: 理學界, **27**(3), 17-21 (1929).
- 3) H. B. MOORE: *J. Mar. Biol. Assoc.*, **20**, 109-128 (1935).
- 4) H. B. MOORE: *J. Mar. Biol. Assoc.*, **21**, 711-719 (1937).
- 5) 川村一広: 北水試報告, **6**, 56-61 (1966).
- 6) M. JENSEN: *Ophelia*, **7**, 65-78 (1969).
- 7) E. F. SWAN: *Biol. Bull.*, **120**(3), 420-427 (1961).
- 8) A. FUJI: *Mem. Fac. Fish. Hokkaido Univ.*, **15**(2), 83-160 (1967).
- 9) 角田信孝, 寺尾百合正, 中村達夫, 井上 泰: 水産増殖, **17**, 155-165 (1970).
- 10) 瀧 襄: 日水誌, **38**, 117-125 (1972).
- 11) 瀧 襄: 日水誌, **38**, 181-188 (1972).
- 12) 時岡 隆: 生物学実験法講座, 第 5 巻上, 中山書店, 東京, 1966, pp. 1-35.
- 13) L. H. HYMAN: *The invertebrates*, Vol. IV, McGraw, New York, 1955, pp. 413-589.
- 14) 富士 昭: 昭和 38 年日本水産学会秋期大会議事録, 1963, pp. 127-136.
- 15) 川村一広: 北水試報告, **16**, 1-54 (1973).
- 16) 富士 昭: 水産増殖叢書, **21**, 日本水産資源保護協会, 東京, 1969, pp. 1-79.
- 17) T. W. GOODWIN: in "Chemical Zoology" (ed. by M. Florkin and B. T. Scheer), Vol. III, Academic Press, 1969, pp. 135-147.
- 18) H. G. VERVERS: in "Physiology of Echinodermata" (ed. by R. A. Boolootian), Wiley, New York, 1966, pp. 267-300.
- 19) R. ENDEAN: in "Physiology of Echinodermata" (ed. by R. A. Boolootian), Wiley, New York, 1966, pp. 301-329.
- 20) 富士 昭: ウニ類の増殖に関する知見, 青森県, 1973, pp. 1-82.
- 21) 大島泰雄, 石渡直典, 田中二良: 水産増殖, **5**, 26-30 (1959).

Plate

Explanation of Plate

- Fig. 1.** Fluorescence photomicrograph of a tangential section of interambulacral plates in the aboral region of a sea urchin fed *Laminaria japonica* var. *ochotensis* (Laminaria-group). Natural fluorescent band on the longitudinal suture (LN) and two tetracycline fluorescent bands (FL₁ and FL₂) are visible.
- Fig. 2.** The same section shown in Fig. 1 examined under ordinary light to show a pigmented growth line (arrow).
- Fig. 3.** Fluorescence photomicrograph of a longitudinal section of interambulacral plates in the aboral region of a sea urchin fed *Laminaria japonica* var. *ochotensis* (Laminaria-group), showing two tetracycline fluorescent bands (FL₁ and FL₂).

Abbreviation

FL₁ and FL₂: tetracycline fluorescent bands, produced by injections on December 8, 1969 and March 10, 1970, respectively; LN: longitudinal suture; LT₁ or LT₇: 1st or 7th latitudinal suture; O: outer surface; I: inner surface.