

網走におけるホタテガイ漁場の流動, 沈降粒子束と ホタテガイの成長について†

宮園 章^{*,**}・多田匡秀^{*,***}・小松輝久[†]

Growth of scallops (*Patinopecten yessoensis*) in sowing culture grounds around the Abashiri Bay in relation to water flow and sediment flux

Akira MIYAZONO^{*,***}, Masahide TADA^{*,***} and Teruhisa KOMATSU[†]

Abstract

The objective of this study is to clarify the influences of environmental factors, water flow and vertical flux of sediment, on the growth of scallops (*Patinopecten yessoensis*). For this objective, a field trip to measure these environmental factors in June, August and October, 1992 and another trip for growth experiments of scallops by cage culture *in situ* from June to October, 1992. For these experiments, two stations were chosen in sowing culture grounds of scallops, one was in the Abashiri Bay (Stn. A) and the other in the western part of Notori Peninsula outside the Bay (Stn. B). The bottom depths and bottom substrate are similar between both stations, but the growth of scallops are different.

Results showed that the growth rate of scallops at Stn. B was greater than that at Stn. A. The growth rate in the cage at 10 cm above the bottom was greater than that on the bottom surface at both stations. Sediment trap examinations revealed that there were no great differences in the vertical flux of organic matters between two stations as an index of food environment. However, water flow measurements using plaster balls indicated that the water flow at heights of 10 cm and 100 cm above the bottom at two stations ranged below 3 cm/s and flow speeds at Stn. B were 1.5-2.1 times greater than those at Stn. A.

Findings by present field study and past laboratory experiments on water flow and growth of some groups of Pectinidae suggest that the growth of scallops is enhanced by increased flow within 3 cm/s because of increased food flux. This range of water flow is slower than the current velocity suppressing the growth of scallops. It is concluded that (a) water flow on the bottom is an important factor to affect the growth of scallops and (b) measurement of water flow using plaster balls can evaluate this factor in sowing culture grounds of scallops.

1. はじめに

ホタテガイの地まき放流漁場が広がる北海道のオホ

1995年7月20日受理

*北海道立網走水産試験場 Hokkaido Abashiri Fisheries Experimental Station, Masu-ura, Abashiri 099-31, Japan

**現北海道立中央水産試験場 Hokkaido Central Fisheries Experimental Station, Hamanaka-cho, Yoichi 238, Japan

***現北海道立稚内水産試験場 Hokkaido Wakkanai Fisheries Experimental Station, Horai, Wakkanai 097, Japan

†東京大学海洋研究所 Ocean Research Institute, University of Tokyo, Minamidai, Nakano-ku, Tokyo 164, Japan

ツク海沿岸では、ホタテガイ漁業は重要な地場産業であり、水産振興上、ホタテガイの成長に関する研究が求められている。網走湾内と能取岬以西海域のホタテガイ放流漁場における貝の成長差と両漁場の環境を比較した FUJITA and MORI (1990) は両漁場における水温環境の不安定度(短期変動の大きさ)の違いが貝の成長差の原因であろうと述べている。一方、蔵田(1985, 1986, 1987, 1988) は網走湾内および能取岬以西海域における現場での飼育試験と環境調査を行い、貝の成長差と両漁場の水柱内の水温、塩分、クロロフィル *a* 量、穿孔性多毛類のポリドラのホタテガイへの付着数、および海底上 2 m の高さの流速を測定した。しかし、両漁場の貝の成長差と環境要素の差の間に関

係を見出せず、海底直上の環境に注目すべきであると報告している。網走の西方に位置する常呂および根室海峡のホタテガイ天然漁場において潜水調査および測流調査を行った木下（1949）は潜水時に感じる流れの強さや漁場の流速は好漁場の分布と密接に関係し、流動が強いことは個体群（漁場）形成にとって重要な要因であることを指摘したが、流動が貝の個体成長に及ぼす効果については言及していない。海底直上の流動は貝の個体成長にとって重要な環境要因と考えられるが、流動と地まきしたホタテガイの成長との関係について現場で確かめた研究例はない。その理由として、ホタテガイ漁場の環境調査において、海底直上の流動を測定することが困難なためであると思われる。流速計による測流では、流速計が大きいため海底直上や海底直上から鉛直方向に短い間隔で多段に設置し測流することが困難なことや高価なために多点に設置するだけの流速計を確保することが難しいことがその理由としてあげられる（KOMATSU and KAWAI, 1992）。底生生物の成長を考える場合には流動の測定は瞬間値ではなく、ある期間の平均値でもよい。上記のような問題を克服する平均流動測定法として、簡便、廉価、多点測定可能という特徴を持つ石膏による流速推定法がある（*e.g.* MUUS, 1967, DOTY, 1968）。しかし、従来の石膏による推定方法では、設置時間が厳密に一定でなければ（例えば、24時間）流動を推定できないことや、石膏の乾燥重量を流速推定に用いるために、石膏の乾燥を同じ程度にする必要があり、測定が煩雑で誤差が大きいという欠点があった。KOMATSU and KAWAI (1992) は MUUS (1967) の石膏球による流動測定法を改良し、水温と設置時間を考慮し、石膏球の湿重量の減少量から同じ沈漬期間に同じだけの減少量をもたらす定常流流速を推定できる新しい簡便な推定方法を提案した。この方法を用いて、ホタテガイ漁場の流動を測定することは、ホタテガイ漁場の流動環境を知るためにきわめて有効であると考えられる。さらに、流動以外の漁場における重要な餌料環境を指標するものに、沈降粒子束がある。沈降粒子束は表層における生物生産を反映し、海底上に地まきされたホタテガイの餌料としての海底直上での懸濁態有機物量の availability を指標すると考えられる。

本研究では、ホタテガイ漁場において、ホタテガイ稚貝を籠に入れて現場で飼育し成長の違いを調べるとともに、KOMATSU and KAWAI (1992) の石膏球法によって流動環境を測定した。さらに、漁場におけるホ

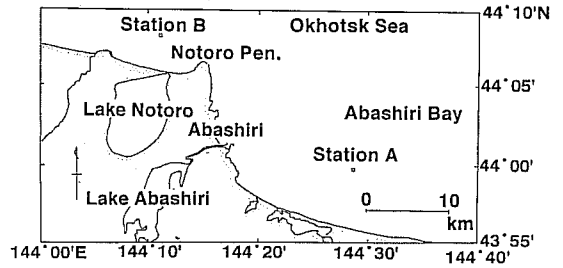


Fig. 1 Location of the experimental stations.

タテガイの餌料環境指標としての沈降粒子束と其中に含まれる有機物フラックスを知るためにセディメントトラップを設置した。

2. 材料および方法

流動環境と沈降粒子束の調査は1992年6月24～26日、8月7～11日、および10月13～15日の計3回、実施した。調査地点にはホタテガイの成長に差のあることが知られている網走湾内のホタテガイ漁場（以降、Stn. Aとする）と能取岬以西のホタテガイ漁場（以降、Stn. Bとする）にそれぞれ1定点づつ、計2定点を設けた（Fig. 1）。いずれの定点も水深は約42mで、底質は細砂であった。

流動測定方法はKOMATSU and KAWAI (1992) および小松 (1992) にしたがった。石膏球は鉄製の観測用スタンドの海底上10cmと100cmにおおの2個づつ取り付け、現場に設置した（Fig. 2a）。スタンドの設置および回収時に水温・塩分をSTD（アレック電子製 model AST-1000）によって測定した。石膏球はKOMATSU and KAWAI (1992) に従って作製した。その際、石膏球の型枠（ポリカーボネイト製）に石膏を注射器により注ぎ込んだすぐあとで、木槌で型枠をたたくことにより、石膏の中に混入した気泡を追い出すように工夫した。設置前と回収後に真水の静水に石膏球を1時間浸し、外側を乾いた布で拭き取って、その湿重量を0.01gの精度で測定し、次式により k を求めた（KOMATSU and KAWAI, 1992）。

$$W_{p0}^{1-m} - W_p^{1-m} = (1-m)kt \quad (1)$$

ここで、 W_{p0} 、 W_p は設置前と回収後の石膏球の湿重量（単位 g）、 m は KOMATSU and KAWAI (1992) の実験により求められた定数（ $m=0.5$ ）であり、 t は石膏球を海水中に沈漬した時間（単位 h）、 k は流速によって定まる湿重量の $(1-m)$ 乗の減少率（定数）である。

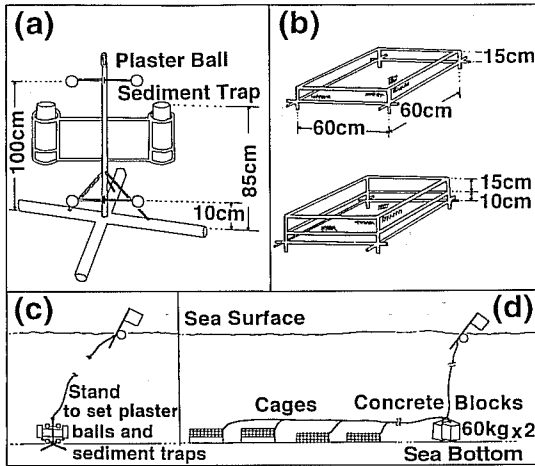


Fig. 2 Schematic view of deploying experimental materials. a: a stand to set plaster balls and sediment traps; b: a cage for culture experiment of scallops settled on the bottom (upper panel) and at a height of 10 cm above the bottom (lower panel); c and d: a method of mooring the stand and the culture cages, respectively.

水温、塩分が一定であれば、 k は流速 (u) に比例するという関係から、石膏球の沈漬期間中の平均的な流動の大きさ (定常流換算流速値) を求めることができ、1次直線式、 $k=au+b$ で表すことができる。小松 (1991) は真水における実験で、 $14\sim 30^{\circ}\text{C}$ の範囲では a と b が水温に依存する1次直線的な変化を示すことを見いだした。今回の調査では、水温が 14°C よりも低かった場合には、小松 (1991) の a 、 b と水温の関係をもとに外挿して、その水温の a 、 b を求めた。なお、水温は設置時と回収時に測定した値の平均値を用いた。調査時の塩分の変動の幅は $33.2\sim 33.6\text{psu}$ であったので、塩分は一定と考えてよい。従って、水温について補正して求めた定常流換算流速値の相対的な比較は可能であると考えられる。現場で沈漬した石膏球の湿重量の減少量と沈漬期間と同じ時間で、同じだけの石膏球の減少量をもたらす定常流換算流速値を以降、簡単のために「流れの強さ」とよぶことにする。

沈降粒子束を求めるために、セディメントトラップ (内径 10cm、高さ 40cm の円筒型) を口が海底上 85cm となるようにスタンドに取り付け (Fig. 2a)、各地点に設置した (Fig. 2c)。捕集された沈降粒子をプランクトン分割器によって2分割し、一方を乾燥重量および強熱減量の分析に、他方をクロロフィル a およびフェオピグメントの分析に供した。沈降粒子の乾

燥重量 (110°C で 24 時間乾燥) を測定し、その後に強熱減量 (600°C で 2 時間強熱) を測定し、強熱減量/乾燥重量を沈降粒子に占める有機物の組成比とした。蛍光光度計 (コタキ製作所製, model KK-68) により、クロロフィル a およびフェオピグメントを測定し、フェオピグメント/クロロフィル a 比を沈降粒子中の植物プランクトンの変質度合の指標とした。

飼育籠にホタテガイ (1 年貝) を收容し、現場での成長を比較する成長試験を 1992 年 6 月 24 日から同年 10 月 13 日の約 4 ヶ月間、Fig. 1 に示した Stn. A と Stn. B で行った。飼育籠は $60\times 60\times 15\text{cm}^3$ の平籠であり、海底上に置く着底型と海底から 10cm に置く離底型の 2 種類を用いた (Fig. 2b)。各定点にはそれぞれ 2 籠づつ計 4 籠を設置した (Fig. 2d)。各籠には、ホタテガイをそれぞれ 20 個体づつ收容し、設置直前と回収直後に殻の付着物を除いた後、それぞれの殻高および全重量を測定した。

3. 結果

(1) 流れの強さ

流れの強さはいずれの調査時においても、Stn. A の海底上 10cm < Stn. A の海底上 100cm < Stn. B の海底上 10cm < Stn. B の海底上 100cm の順に大きくなった (Table 1)。湾内に比較して湾外の流れの強さは大きく、海底上 10cm、100cm でそれぞれ 1.5~2.1 倍、1.5~1.8 倍になった。同じ定点では、海底上 10cm よりも 100cm で流れの強さは大きく、湾内では 1.2~1.3 倍、湾外では 1.1~1.2 倍程度になった。

網走港の潮位表 (気象庁, 1991) をもとに各調査時の平均潮位差を計算したところ、平均潮位差は 10 月には 6 月の約 1.8 倍、8 月には 6 月の約 2.7 倍であり、6 月に最も小さく、8 月に最も大きかった (Table 1)。平均潮位差と流れの強さの関係をみると、両定点ともに平均潮位差が大きくなると流れの強さは大きくなった (Fig. 3)。Stn. A ではこの関係がほぼ直線的であったのに対して、Stn. B では平均潮位差 50cm を境に平均潮位差の増加に対する流れの強さの増加の割合が異なり、平均潮位差が 20~50cm の範囲では平均潮位差が増加しても流れの強さはほとんど増加しなかった。

(2) 沈降粒子束

沈降粒子束は各調査時ともに、Stn. A と Stn. B の差が小さく、Stn. A では 6 月 < 8 月 < 10 月、Stn. B では 8 月 < 6 月 < 10 月の順に大きかった (Table 2)。

Table 1. Time-averaged intensity of water motion, average water temperature and salinity at Stns. A and B, and tidal difference in average at Port Abashiri between two experimental periods.

Station	Height above the bottom	Measurement items	Experimental period		
			24-26 Jun.	7-11 Aug.	13-15 Oct.
Stn. A	10 cm	Intensity of water motion (cm/s)	1.6	4.0	2.4
			2.0	4.9	3.0
	100 cm	Water temp. (°C)	7.92	14.86	13.04
		Salinity (psu)	33.51	33.48	33.60
Stn. B	10 cm	Intensity of water motion (cm/s)	3.4	6.2	3.7
			3.7	-	4.3
	100 cm	Water temp. (°C)	9.44	16.21	12.49
		Salinity (psu)	33.65	33.67	33.34
Tidal difference in average (cm)					
Port Abashiri			28.7	77.9	51.4

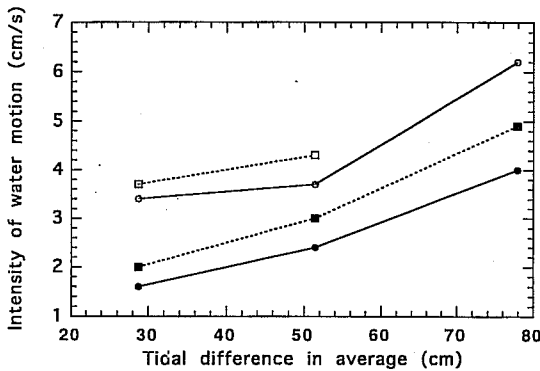


Fig. 3 Correlation between a tidal difference in average at Port Abashiri for each experimental period and time-averaged intensity of water motion measured with plaster balls at heights of 10 cm and 100 cm above the bottom at Stns. A and B. Closed and open marks: Stns. A and B, respectively. Circle and square marks: heights of 10 cm and 100 cm, respectively.

沈降粒子束と海底上 10cm と 100cm の流れの強さの平均値を比較すると、沈降粒子束は流れの強さが 2.5 ~ 4.5cm/s の時に大きく、流れの強さがこの範囲より小さい、あるいは大きい場合に沈降粒子束は小さくなる傾向がみられた。

鉛直方向の無機物フラックスは各調査時ともに Stn. B より Stn. A で大きい傾向がみられた (Table 2)。季節的には、Stn. A, Stn. B ともに 6月 < 8月 < 10

月の順に大きく、有機物フラックスのパターンとは異なった。無機物フラックスを海底上 10cm と 100cm の流れの強さの平均値と比較すると、両定点ともに、流れの強さが最大、最小である時の無機物フラックスは少なく、流れの強さがこれらの中間値の時に無機物フラックスが大きくなるという傾向がみられた。

鉛直方向の有機物フラックスは 6月を除くと Stn. A と Stn. B とでほとんど差がなかった (Table 2)。季節的には、Stn. A, Stn. B ともに 8月 < 10月 < 6月の順に大きかった。フェオピグメント/クロロフィル a 比は各調査時ともに Stn. A と Stn. B ではほぼ同じ値であり、8月の値は 6月、10月の約 4 倍高かった。

(3) ホタテガイの成長

飼育開始時と終了時の筍別のホタテガイの殻高および全重量を Table 3 にまとめた。飼育開始時の筍毎の殻高、全重量について分散分析を行ったところ、筍 No. 6 (Stn. B の着底筍) を除く組み合わせには有意な差がなく (Pr > 0.05)、筍 No. 6 の貝は他よりやや小型であったが、これを除くと飼育開始時の貝のサイズは概ね同じと見なせる。

飼育開始時に殻高が約 46mm、全重量が約 14g であったホタテガイは終了時には殻高が 57.6~65.7mm、全重量が 22~31.8 g まで成長した (Table 3)。飼育期間中、Stn. B の 2 つの着底筍内のホタテガイの多くが死亡し、筍 No. 5 には 1 個体しか生残しなかったため、

Table 2. Vertical flux, organic flux, phaeopigment/chlorophyll *a* ratio, inorganic flux of sediment and mean value of time-averaged intensity of water motion. Sediment was collected with sediment traps mouths of which were settled at a height of 85 cm above the bottom at Stns. A and B. Time-averaged intensity of water motion was measured with plaster balls at heights of 10 cm and 100 cm above the bottom at Stns. A and B.

Station	Measurement items	Experimental period		
		24-26 Jun.	7-11 Aug.	13-15 Oct.
Stn. A	Vertical flux (g/m ² /d)	6.22	8.31	10.01
	Organic flux (g/m ² /d)	2.64	1.36	1.78
	Phaeopigment/Chl. <i>a</i> ratio	12.9	49.8	12.3
	Inorganic flux (g/m ² /d)	3.58	6.95	8.23
	Flow intensity (cm/s)	1.8	4.5	2.7
Stn. B	Vertical flux (g/m ² /d)	9.68	5.27	11.20
	Organic flux (g/m ² /d)	7.03	1.21	1.96
	Phaeopigment/Chl. <i>a</i> ratio	13.5	55.3	9.4
	Inorganic flux (g/m ² /d)	2.65	4.06	9.24
	Flow intensity (cm/s)	3.6	6.2	4.0

Table 3. Shell height and total weight of scallops before and after the cage culture experiment from 24th June to 23th October, 1992. The cages were settled at heights of 0 cm and 10 cm above the bottom at Stns. A and B. * : The scallop number decreased during the cage culture experiment mainly due to predation by starfish. The data of cage No. 5 was disregarded in the statistical analysis because only one scallop remained after the experiment. **: Before the experiment, the shell height and total weight of scallops in cage No. 6 were significantly different (smaller) from those in cages No.1, 3, 4, 7 and 8 (Pr<0.05) by the t-test. *** : After the experiment, the shell height and total weight of scallops between each pair of two cages at the same depth and the same station, were not significantly different (Pr>0.05), except for cages No. 5 and 6 by the t-test.

Station		Stn. A				Stn. B			
		0		10		0*		10	
Height above the bottom (cm)									
Cage number		1	2	3	4	5	6	7	8
Before exp.**	n	20	20	20	20	20	20	20	19
	Shell height (mm)	46.6	46.3	46.2	46.6	45.9	44.5	46.7	47.0
	SD	2.6	3.4	2.4	2.7	3.5	2.3	3.2	3.3
	Total weight (g)	14.0	14.2	13.5	13.7	13.7	12.4	14.1	14.8
	SD	2.5	3.1	2.0	1.7	3.2	2.1	2.3	3.1
After exp.***	n	20	19	20	20	1	6	20	17
	Shell height (mm)	57.8	57.6	60.2	59.8	64.0	59.2	65.7	63.1
	SD	3.6	4.8	2.7	3.7		3.5	3.7	5.0
	Total weight (g)	22.5	22.0	24.2	24.4	27.9	23.9	31.8	30.9
	SD	4.7	5.6	3.6	4.0		4.1	4.6	6.5

結果の解析から削除した。能取岬以西の Stn. B 付近にはヒトデが多いことが知られており、主な減耗原因はヒトデの捕食であると考えられた。飼育終了時の殻高と全重量について各試験区毎の2つの飼育籠の間で分散分析を行ったところ、2つの飼育籠の間には有意な差は認められなかった (Pr>0.05)。そこで、これ

らを同一グループにまとめた4つの試験区毎の殻高および全重量について分散分析を行った結果、貝のサイズには Stn. A の離底籠<Stn. B の離底籠, Stn. B の着底籠<Stn. B の離底籠, Stn. A の着底籠<Stn. A の離底籠という有意な差 (Pr<0.05) が認められた (Table 4)。Stn. A の着底籠と Stn. B の着底籠の間

Table 4. The t-test for two means of shell height (showing in upper-right area) and total weight (showing in lower-left area) of scallops in a pair of two cages at the same depth and the same station. Asterisks indicate statistically significant difference ($Pr < 0.05$).

Location of cage	Location of cage			
	0 cm at Stn.A	10 cm at Stn.A	0 cm at Stn.B	10 cm at Stn.B
0 cm at Stn. A (n=38)	—	2.637*	0.795	6.675*
10 cm at Stn. A (n=39)	2.057*	—	0.534	4.948*
0 cm at Stn. B (n=5)	0.790	0.209	—	2.677*
10 cm at Stn. B (n=36)	7.463*	6.318*	3.047*	—

に有為な差が認められなかった ($Pr > 0.05$) のは、籠 No.6 (Stn. B の着底籠) の実験開始時の貝が他の籠に比べてやや小型であったことが影響したと考えられる。このことを加味すると、湾内に比べて、湾外でホタテガイの成長が良く、また、貝は海底から離れた籠で成長が良かったといえる (Fig. 4)。

4. 考察

(1) 流れの強さ

石膏球によって推定した流れの強さは、網走湾内の Stn. A と湾外の Stn. B とも 1.6~6.2cm/s と小さなものであった。瀬戸内海で調査した小松 (1991) によれば、30psu 程度の塩分があると、石膏球から求めた流れの強さは流速計で得られた絶対流速平均値よりも約 2 倍ほど大きくなる。したがって、網走湾では、実際には 1~3cm/s 程度であったと推定される。蔵田 (1987) は流速計によって網走湾 (湾内) と能取岬以西 (湾外) の海底上 2 m の測流を行い、湾外における流速の絶対値は湾内よりも約 1.6 倍大きかったと述べている。これは石膏球により得られた海底付近の流れの強さが Stn. A よりも Stn. B で約 1.5 から 2 倍大きいこととよく一致する。

つぎに、流れの強さと石膏球沈漬期間の平均潮位差の関係について検討する。網走湾内ではほとんど恒流成分がなく、潮汐流成分による流れが支配的であるのに対して湾外では恒流成分が潮汐流成分の 1~4.6 倍卓越することが明らかにされている (蔵田, 1987)。このことから、湾内では潮汐によって駆動される流れに

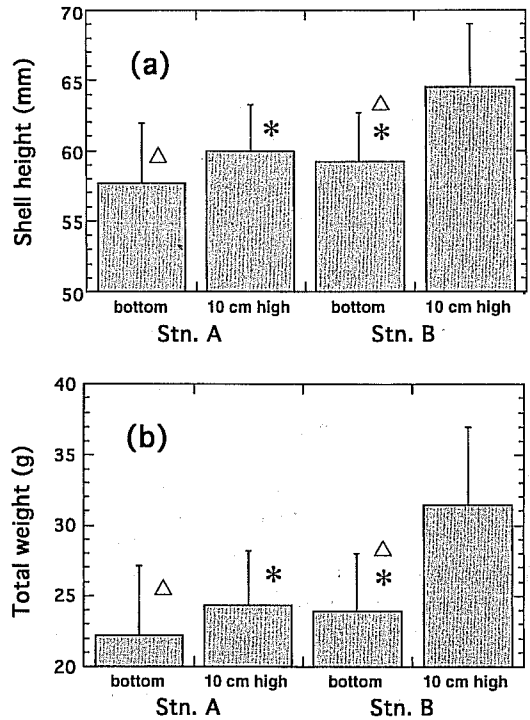


Fig. 4 Means of shell height (a) and total weight (b) of scallops after the culture experiment. Vertical fat bars represent their values of scallops in a pair of two cages set at the same depth and the same station, because statistical analysis indicates no significant difference in the mean heights and weights of scallops between two cages ($Pr > 0.05$). Solid lines indicate their standard deviation. Asterisk and open triangle: no significant difference in mean values between two pairs of the cages. The data of the cage on the bottom at Stn. B is from cage No.6.

より流動環境が支配されているために、流れの強さと石膏球沈漬期間の平均潮位差との間にほぼ直線的な関係が認められたものと考えられる (Fig. 3)。一方、湾外では恒流成分が卓越し、その傾向は潮位差が小さい場合に顕著となるため、平均潮位差が小さい時には流れの強さとの関係がはっきりとしなかったのであろう。

(2) 沈降粒子束

鉛直方向の有機物フラックスの調査期間による増減の傾向は 1992 年の網走湾と常呂沖の水柱平均クロロフィル a 濃度が 8 月 < 10 月 < 6 月の順に高い (宮園ほか, 1994) という結果とよく一致した。このことは

有機物フラックスが水柱内の植物プランクトン現存量を反映していることを示唆している。また、1992年の網走湾における水柱内の懸濁粒子のフェオピグメント/クロロフィル a 比を調べた宮園(未発表)の結果によれば、フェオピグメント/クロロフィル a 比は0.3~3.8の範囲を季節的に変化し、8月に3.8と最も高く、6月と10月にはそれぞれ0.7、1.9と低くなった。セディメントトラップで得られた沈降粒子のフェオピグメント/クロロフィル a 比の調査時期による変化の傾向、すなわち、8月に49.8~55.3と最も高く、6月と10月には9.4~13.5と低くなる傾向は水柱内の懸濁粒子のフェオピグメント/クロロフィル a 比の変化の傾向とよく対応した。沈降粒子のフェオピグメント/クロロフィル a 比は水柱内の懸濁粒子の比より6.5~17.7倍大きく、6月にその違いが最大となった。懸濁粒子に比べて沈降粒子のフェオピグメント/クロロフィル a 比が大きいことには、トラップ内での沈降有機物の変質と変質の進んだ底質の巻き上がり成分の混入という2つの理由が考えられる。本調査ではトラップ内にホルマリン等の防腐剤を加えなかったため、動物の捕食による有機物の変質の可能性があり、設置期間が長ければ、トラップ内での変質は進むと考えられる。しかし、トラップ設置期間が6月および10月より長かった8月に得られた沈降粒子のフェオピグメント/クロロフィル a 比は6月のものより小さく、6月や10月と同じ程度のフェオピグメント/クロロフィル a 比をもつ沈降粒子が8月のトラップ設置期間内にトラップ内で変質したと考えることはできない。6月のStn. Bを除いて沈降粒子束に占める無機物の割合が有機物の1.4~5.1倍であること、トラップが海底直上に設置されていることを考慮すると、堆積物中で変質の進んだ有機物の巻き上がり成分がトラップ内の沈降粒子に多く含まれている可能性がある。

鉛直方向の有機物フラックスはStn. AとStn. Bの間で量的には、6月に差が見られたものの8月と10月でほとんど違いがなく、沈降粒子のフェオピグメント/クロロフィル a 比でも差がなかったことは、海底に地まきされたホタテガイの餌料条件は湾内、外で量、質ともに大きな差がないことを示している。

(3) ホタテガイの成長差と環境要因

網走湾のような地形で潮流が卓越している場合には海水の粒子が潮汐周期で往復運動をし、主に潮汐残差流によって移動するので、恒流が卓越し流動の大き

い湾外よりも海水交換率が小さくなる。海水交換率の低下は外部との物質交換率の低下を意味するので、こうした環境では外部からの餌料供給率が小さくなる可能性がある。しかし、湾内外の海底上での鉛直方向の有機物フラックスの量と質に違いがほとんどみられなかった。このことは恒流成分による海水交換率の違いによって餌料条件に差が生じたため、湾内に比べて湾外のホタテガイの成長が良かったとすることができないことを意味している。

では、どうして今回の成長試験では、湾内のStn. Aと湾外のStn. Bの海底上と海底上10cmにおいた籠の間でホタテガイの成長に差が生じたのであろうか。蔵田(1986)は網走湾において、着底籠と海底から10cm、100cm離底する籠を用いてホタテガイの成長を比較し、飼育籠が海底から離れると貝の成長が良くなることを報告している。この報告は海底上に設置した籠のホタテガイよりも海底上10cmに設置した籠のホタテガイの成長がよいという今回の成長試験の結果の傾向と一致している。ホタテガイやその他の二枚貝では、群集形成や群成長の際には、流動が重要な環境要因であることが野外観察により明らかにされてきた(e.g. KERSWILL, 1949, 木下, 1949, MALOUF and BREESE, 1977)。また、最近でも、ホタテガイの一種のgiant scallop (*Placopecten magellanicus*)を調べたWILDISH *et al.* (1992)は、自然環境下では流れの強さと餌濃度の相互の効果が貝の摂餌行動に影響を及ぼすと述べている。ホタテガイの一種 bay scallop (*Argopecten irradians concentricus*)を用いてパイプ内での成長と流速の関係について調べたKIRBY-SMITH (1972)は貝の成長が約1cm/sの流速で最大になり、それ以上でも以下でも悪くなることを観察した。また、同じような傾向がイガイ (*Mytilus edulis*)の成長と流況についての飼育実験でもみられている(WILDISH and MIYARES, 1990)。giant scallopの成長と流動の実験水槽で調べた例(WILDISH and SAULNIER, 1993)では、流れの強さが貝の摂餌に及ぼす影響には2つの相があり、ある速度までは流れの強さの増大が貝をとりまく餌フラックスを増大させ、摂餌効率を高めるが、強すぎる流れの強さは貝の摂餌機能の低下に働く。彼らの実験では、成長に最適な流速は、3~6cm/sであった。CLAERBOUDT *et al.* (1994)はgiant scallopの稚貝を板に接着し、現場垂下養殖試験を行い、流れの強さが平均16.5cm/sの地点では、ネットをかぶせた板の貝の軟体部重量の増加がネット

外の板の貝より大きく、流れの強さが8.4cm/sの点では、ネットをかぶせた板の貝よりもネット外の板の貝の軟体部重量が増加することを示した。ネットをかぶせた板上の流れの強さはネット外の流速の46~61%であった。これらのことから、ホタテガイの成長には最適な流れの強さが存在し、それ以上では強い流れが貝にストレスを与え、それらの摂餌機能を低下させるために、それ以下では餌料の摂取率が悪くなるために成長は悪くなると考えられる。giant scallopの場合では成長に最適な流速は約3~6 cm/s程度であることから(WILDISH and SAULNIER, 1993), ホタテガイもその程度の流れの強さが最適な流れの強さではないかと推定される。網走湾内と湾外の海底上10cmと海底上100cmに設置した石膏球による流動調査では、1~3 cm/sと微弱なことから、海底上も海底上10cmでもホタテガイの成長に最適な流速よりも小さかったのであろう。そのために、湾内のStn. Aよりも流れの強さが大きい湾外のStn. Bで、あるいは海底上よりも流れの強さが大きい海底上10cmでは餌料フラックスが大きくなり、ホタテガイの摂餌効率を増加させた結果が成長差となったと考えられる。

網走湾内、湾外の海底上4~7mの高さに設置した籠で飼育したホタテガイの成長を調べた蔵田(1985)は、湾内外で成長はほぼ同じであるという結果を得た。この場合の餌料条件は、海底直上の有機物の鉛直フラックスではなく、水中に懸濁している有機物量やクロロフィルa量によって決定される。網走湾内と湾外の4月から11月までの水柱内の平均クロロフィルa濃度を調べた宮園ほか(1994)によれば、湾内は湾外に比べて約2倍高かった。一方、湾内と湾外との流れの強さの違いは1.5~2倍であるが、流れの強さは海底上10~100cmの1~3cm/sに対して、海底上2mでは7.2~11.4cm/s(蔵田, 1987)と大きかった。垂下養殖籠内の流れの強さは籠の外に比べて減衰する(CLAERBOUDT *et al.*, 1994)。減衰率は籠の目合によるが、40~60%程度減衰すると考えると、7.2~11.4cm/sという流れの強さは籠の中ではホタテガイの成長に最適な流れの強さの上限(3~6 cm/s)もしくはそれ以上の流れの強さとなる。こうした早い流速条件下では、成長に最適な流速を越えるため貝の摂餌調節機能が働か(WILDISH and SAULNIER, 1993)、成長が抑制される。その結果、懸濁態中の餌料条件が異なっているにもかかわらず、網走湾内と湾外の海底上4~7mの高さの籠内のホタテガイの成長に差が生

じなかったものと考えられる。

今回の研究の結果から、網走湾内と湾外における海底上および海底上10cmの飼育籠内のホタテガイの成長の差は流れの強さの違いによってもたらされたと判断される。石膏球による流動の測定法は微弱な海底の直上の流動の測定に適切な方法であり、今後のホタテガイ地まき漁場における漁場環境の評価の指標として用いることができるものと確信する。

5. 謝 辞

本研究を進めるにあたり、調査の協力を頂いた網走漁業協同組合の小林耕一氏ならびに調査船若潮丸の乗組員の方々にお礼を申し上げる。また、あたたかい励ましをいただいた北海道立網走水産試験場場長および資源増殖部長、有益な議論をしていただいた資源増殖部蔵田 護氏に謝意を表す。ご校閲を賜り貴重な意見をいただいた水産庁養殖研究所杜多 哲博士および遠洋水産研究所西田 勤博士に深謝する。

文 献

- CLAERBOUDT, M. R., J. H. HIMMELMAN, J. COTE (1994) Field evaluation of the effect of current velocity and direction on the growth of the giant scallop, *Placopecten magellanicus*, in suspended culture. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 183, 27-39.
- DOTY, M.S. (1971) Measurements of water movement in reference to benthic algal growth. Bot. Mar., 16, 32-35.
- FUJITA, N. and K. MORI (1990) Effects of environmental instability on the growth of the Japanese scallop *Patinopecten yessoensis* in Abashiri sowing-culture grounds. In, Marine farming and enhancement, Proceed. of the 15th U.S.-Japan meeting on aquaculture, Kyoto, Japan Oct. 22-28, 1986. ed. A. K. SPARKS, NOAA Tech. Rep. NMFS 85, 81-89.
- KERSWILL, C.J. (1949) Effects of water circulation on the growth of quahogs and oysters. J. Fish. Res. Board Can., 7, 545-551.
- KIRBY-SMITH, W.W. (1972) Growth of the bay scallop: The influence of experimental water currents. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 8, 7-18.
- 木下虎一郎(1949)ホタテガヒの増殖に関する研究。札幌、北方出版社, 106pp.
- 気象庁(1991)1992年潮位表, 271pp.
- 小松輝久(1991)石膏球法による湾内流動調査(虫明湾内の海水流動に及ぼすカキ筏の影響).平成2年度 養殖漁場高度管理方法開発調査報告書, 日本水産資源保護協会, 東京, 175-191.
- 小松輝久(1992)石膏球による時間平均流の強さ測定方法の改良とその観測例.月刊海洋, 24, 503-511.
- KOMATSU, T. and H. KAWAI (1992) Measurements of time

流動, 沈降粒子束とホタテガイの成長

- averaged intensity of water motion with plaster balls. J. Oceanogr., 48, 353-366.
- 蔵田 護 (1985) 網走湾におけるホタテガイの成長阻害要因に関する調査. 昭和 59 年度網走水試事業報告書, 198-209.
- 蔵田 護 (1986) 網走湾におけるホタテガイの成長阻害要因に関する調査. 昭和 60 年度網走水試事業報告書, 160-170.
- 蔵田 護 (1987) 網走湾におけるホタテガイの成長阻害要因に関する調査. 昭和 61 年度網走水試事業報告書, 193-200.
- 蔵田 護 (1988) 網走湾におけるホタテガイの成長阻害要因に関する調査. 昭和 62 年度網走水試事業報告書, 186-188.
- MALOUF, R.E. and W.P. BREESE (1977) Seasonal changes in the effects of temperature and water flow rate on the growth of juvenile Pacific oysters, *Crassostrea gigas* (Thunberg). Aquaculture, 12, 1-13.
- 宮園 章, 多田匡秀, 大槻知寛 (1994) ホタテガイの成長に関する調査. 1) 成長曲線調査. 平成 4 年度網走水試事業報告書, 136-156.
- MUUS, B. J. (1968) A field method for measuring "exposure" by means of plaster balls; a preliminary account. Sarsia, 34, 61-68.
- WILDISH, D. J. and M.P. MIYARES (1990) Filtration rate of blue mussels as a function of flow: preliminary experiments. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 142, 213-219.
- WILDISH, D.J. and A.M. SAULNIER (1993) Hydrodynamic control of filtration in *Placopecten magellanicus*. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 174, 65-82.
- WILDISH, D.J., D.D. KRISTMANSON and A.M. SAULNIER (1992) Interactive effect of velocity and seston concentration on giant scallop feeding inhibition. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 155, 161-168.