

ホタテ貝殻を活用したホタテ地まき漁場造成について

CREATION OF THE JAPANESE SCALLOP SOWING FISHING GROUND USED ITS SHELL FRAGMENT

伊藤靖¹・吉野真史¹・酒向章哲²・櫻井泉³・西田芳則⁴・新山伸二⁵
Yasushi ITO, Masafumi YOSHINO, Akinori SAKO, Izumi SAKURAI, Yoshinori NISHIDA and Shinji NIYAMA

¹正会員 (財)漁港漁場漁村技術研究所 (〒101-0047 東京都千代田区内神田1-14-10内神田ビル)

²理修 (財)漁港漁場漁村技術研究所 (同 上)

³水博 北海道立中央水産試験場 (〒046-8555 北海道余市郡余市町浜中町238)

⁴水修 北海道立稚内水産試験場 (〒097-0001 北海道稚内市末広4丁目5-15)

⁵水産庁漁港漁場整備部 (〒100-8907 東京都千代田区霞ヶ関1-2-1)

In this study, we developed a method of the Japanese scallop sowing fishing ground creation used the scallop shell fragment. To evaluate the significance of scallop production and the influence on environment, we investigated scallop growth, and water and sediment qualities after laying the shell fragment on the fishing ground. In addition, we examined hydrodynamic stability of the shell fragment under laboratory condition. The results indicated that the shell fragment laying had significant effect to the scallop growth with no bad influence on water and sediment qualities. Furthermore, we proposed a selection method of suitable conditions which the shell fragment would be stable on the fishing ground.

Key Words : *scallop, scallop shell, fishing ground, stability of scallop shell, water and sediment qualities, scallop growth*

1. はじめに

北海道におけるホタテガイ生産は 40 万トンを超え、生産量、生産額共に全国第一位の座を占め、北海道における水産業の柱となっているものの、生産に伴い大量に排出される貝殻の処理が大きな問題となっている。そして、環境保全や環境との調和に対する国民的ニーズの高まりやバイオマス利用の観点から、ホタテ貝殻の有効活用は喫緊に対応すべき重要な課題となっている。また、ホタテガイは一般にバラス場と呼ばれる底質が礫混じりの砂で構成される場において成長が良化することが知られているが、北海道オホーツク海においては砂泥域が多く、漁場改良による生産性の向上や未利用海域における漁場造成が強く求められている。

本研究は、泥が厚く堆積して生産性が低い北海道オホーツク海沿岸ホタテ地まき放流漁場を対象に、水質環境への影響、貝殻片の安定性、ホタテガイの成長良化に着目して、ホタテ貝殻散布による漁場造成技術を開発することを目的として行った。

2. 調査内容

(1) 調査の概要

前述のとおり、ホタテはバラス場と呼ばれる礫分を主とした底質上で生息密度が高く、シルトが多い底質上では低い事が知られている^{1),2)}。そのため、地撒き放流漁業を営む北海道オホーツク沿岸各漁協は、バラス場形成を目的に貝殻をシルトが多い底質上に散布した後稚貝を放流する試験を実施しており、漁場改良効果も散見されている。雄武漁協の試験³⁾では、放流貝の成長良化、天然貝発生率の上昇、漁獲効率の向上及び漁獲時の割れ貝減少の報告がある。図-1 にホタテ貝殻散布による漁場造成効果のイメージを示す。

しかしながら、ホタテ貝殻散布に対しては付着有機物による水質・底質の悪化や波浪や流動による散逸が懸念されるため、安全性を確認した上で事業を実施する必要がある。以上に鑑み、本研究においては、図-2 に示すホタテ地撒き漁業が盛んな北海道オホーツク海沿岸の雄武、枝幸海域を対象として調

案として目標層厚の 2 倍程度の量である 2,039t のホタテ貝殻を散布した。ホタテ貝殻は堆積場にて風雨に 1 年間以上さらして十分に風化させた上で、粒径 3cm 程度まで破碎して使用した。ホタテ貝殻の風化の度合いについては、宗谷管内ホタテ貝殻有効利用協議会にて参考基準として溶出試験にて BOD 濃度が



写真-1 ホタテ貝殻散布作業

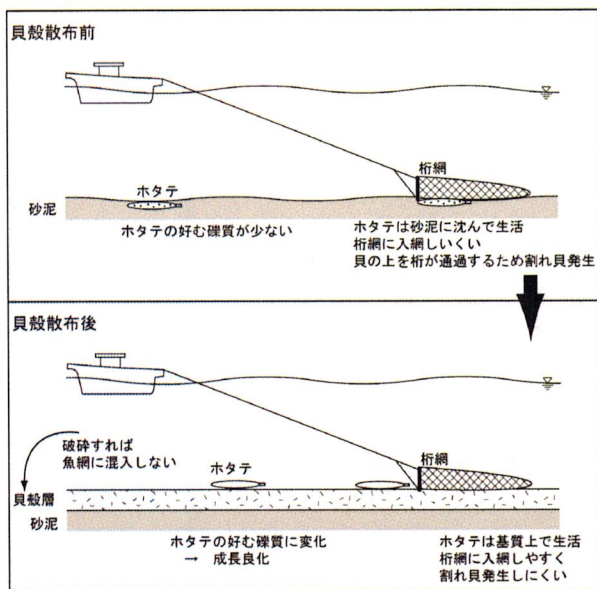


図-1 ホタテ貝殻散布による漁場造成効果のイメージ



写真-2 ホタテ貝殻散布後の海底状況



図-2 調査海域位置図

表-1 調査項目と対象位置

調査項目	対象位置
ホタテ貝殻散布による水質・底質リスク調査	雄武海域
ホタテ貝殻片安定性調査	室内水槽実験
ホタテ貝殻散布がホタテガイ成長に与える効果調査	枝幸海域

(2) 貝殻散布の水質・底質リスクの検討

a) ホタテ貝殻散布

雄武町沿岸の水深 30m 海域を対象として、平成 16 年 9 月 2 日～6 日にホタテ貝殻を散布した。写真-1 にホタテ貝殻散布作業を、写真-2 に散布後の海底の状況を示す。散布範囲は図-3 に示すとおり、目標層厚 4cm 区域を 165m×88m、目標層厚 2cm 区域を 160m×128m とし、投入時の潮流による移動を勘

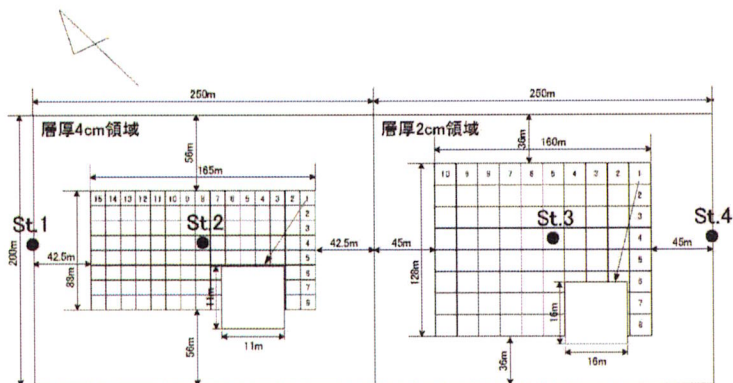


図-3 貝殻散布区域および水質・底質調査地点

2mg/L 以内とされており⁴⁾，その基準を満足することを確認した上で散布を実施した。

b) 水質・底質調査

前述のとおりホタテ貝殻散布は平成 16 年 9 月 2

日～6日に実施したが、散布直前（8月21日）、散布直後（9月7日）、散布10日後（9月17日）に水質・底質調査を実施した。調査地点は、水質調査は図-3のSt.1～St.4、底質調査はSt.2である。表-2に水質調査結果を、表-3に底質調査結果をそれぞれ示す。

水質については、化学的酸素要求量(COD)および浮遊懸濁物質(SS)はいずれも全て定量限界未満であり、有機物や浮遊懸濁物質の溶出は見られず、ホタテ貝殻散布前の良好な水質がそのまま維持されていると考えられる。また、溶存酸素濃度(DO)はホタテ貝殻散布直後に0.5mg/L程度低下しているが、散布10日後には表層の濃度が回復していることや、いずれにおいても水産用水基準6.0mg/Lを満足していることから、ホタテ貝殻の散布が水質環境に与える負荷は少ないと考えられる。

表-2 ホタテ貝殻散布前後の水質分析結果

分析項目	単位	COD _{OH}			SS			DO		
		mg/L			mg/L			mg/L		
調査地点、水深		8/21	9/7	9/17	8/21	9/7	9/17	8/21	9/7	9/17
St. 1 32m	表層	<0.5	<0.5	<0.5	<1	<1	<1	8.4	7.6	8.1
	中層	<0.5	<0.5	<0.5	<1	<1	<1	8.6	7.6	7.5
	底層	<0.5	<0.5	<0.5	<1	<1	<1	8.1	7.5	7.5
St. 2 32m	表層	<0.5	<0.5	<0.5	<1	<1	<1	8.6	7.6	8.0
	中層	<0.5	<0.5	<0.5	<1	<1	<1	8.4	7.5	7.6
	底層	<0.5	<0.5	<0.5	<1	<1	<1	8.2	7.5	7.5
St. 3 30m	表層	<0.5	<0.5	<0.5	<1	<1	<1	8.2	7.6	8.0
	中層	<0.5	<0.5	<0.5	<1	<1	<1	8.1	7.4	7.5
	底層	<0.5	<0.5	<0.5	<1	<1	<1	8.1	7.5	7.6
St. 4 31m	表層	<0.5	<0.5	<0.5	<1	<1	<1	8.2	7.6	8.5
	中層	<0.5	<0.5	<0.5	<1	<1	<1	8.4	7.6	7.5
	底層	<0.5	<0.5	<0.5	<1	<1	<1	7.8	7.5	7.4

底質については、強熱減量と全窒素は散布前後で変化が無く、底質に有機物が添加された状況は見られなかった。全炭素については散布後に非常に大きな値を示すが、これはホタテ貝殻の主成分が炭酸カルシウムであることによると考えられる。

表-3 ホタテ貝殻散布前後の底質分析結果

分析項目	強熱減量			全窒素			全炭素		
	%			%			%		
調査地点、水深	8/21	9/7	9/17	8/21	9/7	9/17	8/21	9/7	9/17
St. 2 32m	1.20	欠	1.11	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	11.4	11.0

以上の結果から、十分に風化されたホタテ貝殻の散布が水質・底質環境に与える影響は非常に小さいと結論付けられる。

(2) ホタテ貝殻片の安定性検討

a) 実験手順

実験には、粒径を6段階に破碎したホタテ貝殻片を使用した。実験に用いた振動流水槽（観測部：長さ1.5m、幅0.3m、深さ0.35m）を図-4に示す。この水槽は全体が環状構造を有しており、下部中央部

に内蔵されたプロペラをモーターで駆動することによって振動流を発生できる仕組みとなっている。水槽底部には、市販の珪砂を敷設し、その上に写真-3に示すように貝殻片を長さ80cm、厚さ5cmに敷き詰めた。その後、水槽内にろ過海水を満たした状態で流れを発生させ、貝殻片の挙動をビデオカメラで記録した。珪砂の中央粒径は5段階とし、敷設後の砂面形状は平坦な状態と砂漣が形成された状態の2パターンとした。流れの状態は、周期4～12秒で、流速振幅8～96cm/sとした。貝殻片のサイズ、底質粒径および実験条件の組み合わせは表-4に示すとおりで、計30回の実験を実施した。表-4中の数値は振動流の周期（秒）、Fは平坦な状態、Rは砂漣が形成された状態を示す。

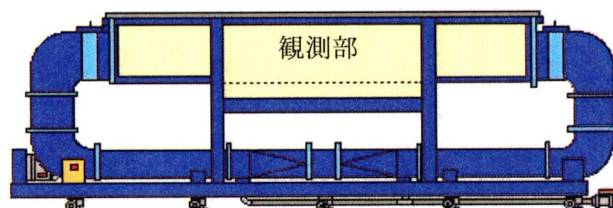


図-4 振動流水槽の概要



写真-3 貝殻片(11.2～22.4mm)の敷設状況

表-4 実験条件の組み合わせ

貝殻サイズ (mm)	底質粒径(mm)				
	0.063	0.125	0.250	0.550	1.000
4.75～11.2	4F	6R	8F	10R	12F
11.2～22.4	6F	8R	10F	12R	4F
22.4～31.5	8F	10R	12F	4R	6F
31.5～37.5	10F	12R	4F	6R	8F
37.5～53.0	12F	4R	6F	8R	10F
53.0～75.0	4F	6R	8F	10R	12F

b) 安定性評価のパラメータ

流れに対する貝殻片の安定性を評価するため、本実験では流速と貝殻片の沈降速度比およびシールズ数をパラメータとして算出した。

貝殻片の沈降速度 w に対する流速 u の比 u/w については、値が小さければ貝殻片は沈降しやすく安定的となるが、大きければ逆に流動的となる。沈降速度は式(1)に示すルビーの式⁵⁾より求めた。

$$w = \sqrt{(s-1)gd} \times \left(\sqrt{\frac{2}{3} + \frac{36\nu^2}{(s-1)gd^3}} - \sqrt{\frac{36\nu^2}{(s-1)gd^3}} \right) \quad (1)$$

ここに、 s は貝殻片の比重、 ν は水の動粘性係数、 d は貝殻片の代表粒径、 g は重力加速度、である。

シーلز数 ψ は流れや波の場において砂粒子の動きやすさを表すパラメータであり、本調査では式(2)により算出した。

$$\psi = \frac{fu^2}{2(s-1)gd} \quad (2)$$

ここに、 f はJonssonの摩擦係数である。

c) 貝殻片の挙動と流れの関係

流れに対する貝殻片の挙動は、以下の4パターンに区別できた。

- 型（不動）：貝殻片は動揺せず安定している
- I型（微動）：一部の貝殻片が動揺するが、移動は認められない
- II型（転動）：殆どの貝殻片が動揺すると共に、一部の貝殻片が底面上を転動する
- III型（集積・埋没）：半数以上の貝殻片が底面上を転動した後、各々が直立し安定する

図-5 に流速／沈降速度比、シーلز数および貝殻片挙動パターンとの関係を示す。図-5 によると、各々の挙動パターンは一部が重複するものの、明瞭に区分された。そこで、各挙動パターンの境界を流速／沈降速度比とシーلز数の関係で表-5 のように表現した。なお、珪砂ではなくサンドペーパーを敷設した予備実験では貝殻片が浮遊移動するIV型（流失）も認められたが、砂を敷設した実験では砂の混入により水槽駆動部が破損する危険性があるため、IV型の発生を確認できる流動条件を与えることができなかった。このため、III型とIV型の境界については予備実験の結果を使用した。

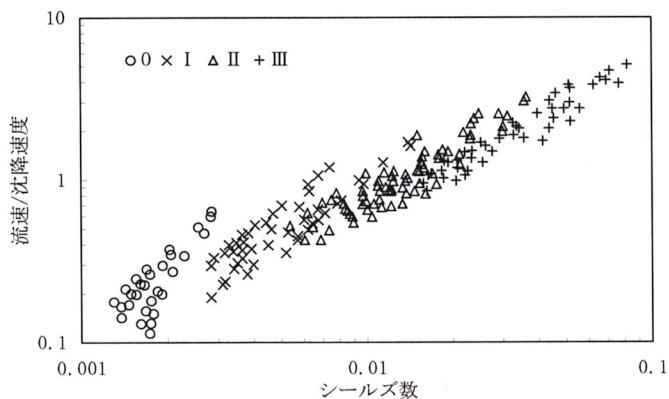


図-5 流速沈降速度比、シーلز数および貝殻片挙動パターンとの関係

表-5 各挙動パターンの境界を示す流速沈降速度比と

シーلز数の関係式

境界	関係式
0 型：I 型	$u/w = e^{18.06} \psi^{3.16}$
I 型：II 型	$u/w = e^{6.96} \psi^{1.51}$
II 型：III 型	$u/w = e^{6.71} \psi^{1.67}$
III 型：IV 型	$u/w = e^{4.77} \psi^{1.33}$

表-5 に示した関係式を基に挙動パターンの判定条件を図化したのが図-6 である。今後の事業計画策定にあたっては、設計波高から微小振幅波理論によって求められた流速、式(1)から求めた沈降速度、式(2)から求めたシーلز数を基に図-6 を利用して貝殻片の安定性を評価できることとなる。

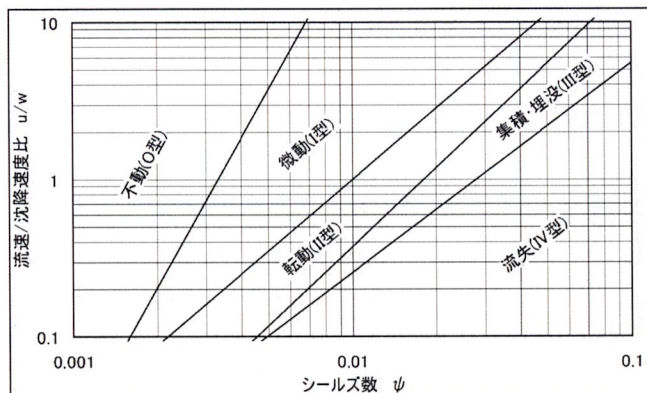


図-6 貝殻片の安定性の判定条件

(3) 貝殻散布がホタテガイの成長に与える効果

a) 調査区域

調査海域は、図-2 に示した枝幸町地先の水深 30m の地域とした。試験区域の概念は図-7 に示すとおりであり、平成 13 年から平成 15 年まで 3 年間に渡って枝幸漁業協同組合が貝殻の散布を実施している。本調査においては、平成 14 年に貝殻を散布した実験区 1、平成 15 年に貝殻を散布した実験区 2、貝殻散布区域外の対照区の計 3 試験区域を対象として平成 16 年 6 月にホタテガイ稚貝を散布し、ホタテガイの成長調査を実施した。なお、平成 18 年 6 月に貝殻の層厚を調査した結果、砂と貝殻が混じり合った状態ではあるものの、実験区 1 で 8.3cm、実験区 2 で 15.0cm を示し、散布から約 3 年以上が経過しても貝殻が存在していることが確認された。

b) ホタテガイ成長調査

前述のようにホタテガイ稚貝は平成 16 年 6 月に放流されており、2 年後の平成 18 年 7 月までに 6 回採取を実施した。各調査区域においてホタテガイを区域ごとに 50 個体程度採取し成長を測定した。

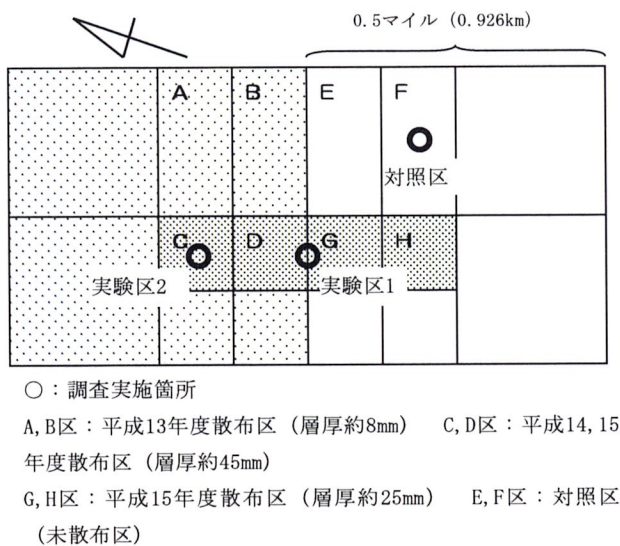


図-7 試験区域概念図

平成18年7月採取ホタテガイの測定結果を表-6に示す。殻高と2齢時の障害輪高との差から殻の伸び率を測定したところ実験区1と実験区2のホタテガイの殻伸率は10%以上になっており、これは対照区と比して良好な結果である。これについてはKruskal-wallis検定を行ったところ区画間で殻伸率に有意差があると判定された。

表-5 各試験区にて採取されたホタテガイの成長（平成18年7月）

項目			実験区1	実験区2	対照区
単位					
障害輪高(0齢)	mm		39.3	37.9	43.4
障害輪高(2齢)	mm		100.6	99.4	102.2
殻高	mm		112.6	113.5	111.8
殻伸率(0齢～)	%		64.9	66.6	61.2
殻伸率(2齢～)	%		11.9	14.2	9.4
重量	全重量	g	120.4	120.2	115.6
	軟体部	g	56.8	58.5	55.9
	殻	g	63.5	61.6	59.6
	貝柱	g	24.0	25.2	22.9
軟体部	歩留まり	%	47.2	48.5	48.4
貝柱	水分含量	%	72.9	72.6	73.1
	欠刻内着率	%	12.8	11.7	16.0
	分布密度	/m ²	0.4	0.9	1.4

1 齢から 5 齢までのホタテガイにおいては、年齢と全重量の関係が線形なので⁶⁾、年間の成長量は年齢を問わず一定になる。そこで、平成16年6月（1 齢）と翌平成17年6月（2 齢）のデータを用いて、この期間の重量差から日間成長量を算出した。ホタテガイの成長は冬季に停滞するので、ホタテガイの成長期間を3月1日～9月30日までとし、重量差を日数で除した。各試験区域の日間成長量、および対照区に対する実験区の増重率を表-6に示す。日間成長量は実験区2、実験区1、対照区の順に大きかった。対照区に対する増重率は実験区1で8.7%、実験区2で18.5%であり、平均で13.6%と大きな増

重率を示した。

表-6 1 齢, 2 齢ホタテガイ全重量から推定した日間成長量と対照区に対する実験区の増重率

	成長量(g) ^{※1}	日間成長量(g/日) ^{※2}	増重率(%)
対照区	47.6	0.242	
実験区1	51.7	0.262	8.7
実験区2	56.4	0.286	18.5
平均			13.6

※1 2004年6月24日から2005年6月7日までの成長量

※2 ※1の期間を3月1日～9月30日(197日間)として算出

次に、日間成長量を基に推定した各試験区域における年齢別全重量を表-7に示す。なお、当該海域の漁期の中間月が8月なので、表には各年8月時点での全重量を示した。対照区における4 齢時の重量は174.5gであり、この地区で漁獲されるホタテガイの平均的な重量約170gとほぼ一致する。従って、日間成長量で全重量を推定する手法は概ね妥当と考えられる。

表-7 日間成長量から推定した各試験区域のホタテガイ年齢別全重量

年齢	1	2	3	4
対照区	22.3g	73.1g	123.8g	174.5g
実験区1	24.3g	79.4g	134.5g	189.6g
実験区2	26.1g	86.3g	146.4g	206.5g

※1年の成長期間を210日として各年齢8月時点での重量

c) 成長良化の考察

最初に述べたように、ホタテガイの生息環境としてバラス場が望ましいとされる。一方、砂泥域に分布するホタテガイは、海底に埋まって生息しており、成長も悪い。貝殻片を海底に敷き詰めるということは、ホタテガイが海底に潜り込みにくい環境を提供することを意味する。写真-4にホタテ貝殻上に存在するホタテガイを、写真-5に海底に埋没しているホタテガイをそれぞれ示す。

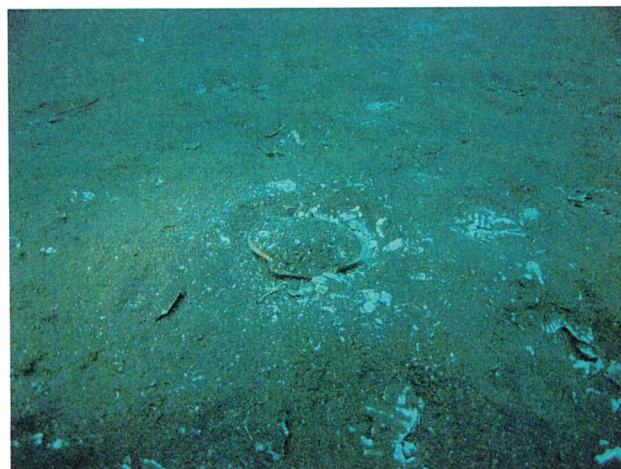


写真-4 ホタテ貝殻上に生息するホタテガイ



写真-5 海底に埋没しているホタテガイ

ホタテガイの成長は、流れに対するホタテガイの定位方向により異なり、腹側を流れに向けたホタテガイの成長は背側を流れに向けたものよりも良いことが指摘されている^{7),8)}。これは、ホタテガイは腹側から入水し背側から出水するため、腹（入水）側を流れに向けた方がエネルギーのロスがなく、効率よく摂餌できるためと報告⁹⁾されている。このように、流れがホタテガイの摂餌効率に影響を与えるのは、ホタテガイの海水の吸引能力が低いこと（自ら濾水できる範囲は貝殻縁辺部から数ミリ程度）からも理解できる。流れの観点から貝殻散布区と砂泥区を比較すると、貝殻散布区のホタテガイは海底に埋もれていないため、海底上の流れを直接利用できると思われる。従って、埋没、海底上という生息様式の違いが濾水率に反映し、成長差が生じると推察される。

3. まとめ

本研究で得られた成果を以下にまとめて示す。

- ①十分に風化されたホタテ貝殻の散布が水質・底質環境に与える影響は非常に小さいことがわかった。
- ②流速／沈降速度比とシールド数をベースにした、流れに対するホタテ貝殻の安定性評価手法を提案した。
- ③ホタテ貝殻散布漁場においては、ホタテガイは敷設された貝殻の上に生息するので摂餌が促進され、成長率が向上することがわかった。

4. おわりに

本研究において、ホタテ貝殻を活用したホタテ地まき放流漁場造成に関する水質・底質環境に対する安全性、および成長に対する有効性については概ね確認されたが、実際に事業に適用するにあたっては海域ごとの環境の特性に十分配慮し、水質・底質については必要に応じてモニタリングを継続すべきと考えられる。また、ホタテガイの成長については、今後データを収集し、より精度の高い成長率を求めてゆく必要があると考えられる。

謝辞：本研究は、「貝殻を活用した増養殖場造成実証調査委託事業」（水産庁漁港漁場整備部）により実施された。研究の実施にあたっては「貝殻を活用した増養殖場造成実証調査委託事業協議会」（委員長：長野章公立はこだて未来大学教授）の指導を受けた。北海道水産振興課、水産経営課、各水産試験場の諸氏からは貴重な助言を頂戴した。枝幸、雄武両漁業協同組合には現地調査に関して御協力賜った。ここに記して満腔の感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 中川義彦, 和久井卓哉：常呂海域ホタテガイ漁場の底質と大型底生動物について, 北水試月報, 32(3), pp. 16-30, 1975.
- 2) 中川義彦, 和久井卓哉：斜里・網走海域ホタテガイ漁場の底質と大型底生動物について, 北水試月報, 33(2), pp. 23-33, 1976.
- 3) 雄武漁業協同組合：底質改良試験事業報告書 平成 10 年度～平成 11 年度, 1999.
- 4) 宗谷管内ホタテ貝殻有効利用協議会：風化貝を再生利用するための指針, 水質試験について, 2006.
- 5) 榎木亨：波と漂砂と構造物, 第 3 章 波と流れと漂砂, 技報堂出版, 1991.
- 6) 西浜雄二：オホーツクのホタテ漁業, 北海道大学図書刊行会, pp. 218, 1994.
- 7) 櫻井泉, 瀬戸雅文：養殖ホタテガイの成長に適した流動条件に関する実験的研究, 寒地技術論文集, 15 巻, pp. 381-384, 1999.
- 8) 五嶋聖治, 千葉晋：オホーツク海における地まきホタテガイの成長に関する試験研究 ―ホタテガイの定位におよぼす流向・流速の影響―, 水産学研究・改良補助事業報告(平成 10 年度), 北水協会, pp. 60-64, 1999.
- 9) 五嶋聖治, 千葉晋：オホーツク海における地まきホタテガイの成長に関する試験研究 I. ホタテガイの成長におよぼす流向・流速の影響に関する研究, 水産学研究・改良補助事業報告(平成 11 年度), 北水協会, pp. 60-64, 2000.