

# Laboratory reconstruction and nearby sulfide dynamics of a model benthic boundary layer containing sediment-mixed biofilm

Norihisa ISHIBASHI<sup>1)</sup>\*, Hiroo SATOH<sup>2)</sup> and Jota KANDA<sup>1)</sup>

**Abstract:** Sediment-mixed biofilms of microorganisms embedded within an extracellular polymeric substance were reconstructed using laboratory models of seawater-benthic boundaries, and the sulfide dynamics in the boundary zone were examined. Biofilm-covered sediment was obtained from the field and cultured in a beaker of seawater with a granular formula for fish larvae and powdered foraminiferal limestone. In the standing culture, a floating biofilm formed on the liquid surface, and a microbiota capable of mixed biofilm formation was obtained. The mixed biofilm was cultured in a fluidization-free aerobic state, again with nutritional granules and powdered foraminiferal limestone. This culture formed a sediment-mixed biofilm on the bottom of the beaker. Furthermore, a seawater-benthic boundary model was developed on a hydrated substratum with sediment biofilm, using a nylon mesh as the model bottom layer in the culture system. When the floating biofilm was disrupted and then dispersed on the nylon mesh, detectable biofilms formed on the surface of the model bottom. As nutrients were utilized by the microbes, sulfides accumulated beneath the model bottom. Subsequently, the sulfides passed through the model bottom and became detectable in the seawater just above the sediment-mixed biofilm, where a white-turbid layer formed. As revealed by denaturing gradient gel electrophoresis, the layer contained populations of several bacterial species.

**Keywords :** *sediment mixed biofilm, seawater-benthic boundary, sulfide cycle, pelagic bacterial layer*

## 1. Introduction

Sediment-mixed biofilms (SMBs) are aggregations of microbial growth present on the surfa-

ces of most substances in contact with water. They are commonly found on the sedimentary surfaces of seabeds and intertidal zones (BOUDREU and JØRGENSEN, 2001; GHANNOUM and O'TOOLE, 2004). However, the roles of SMBs in the biogeochemical cycle at seawater-benthic boundaries remain unclear. Biofilms have been experimentally grown from individual microbes isolated from natural samples using microtiter plate culture (O'TOOLE and KOLTER, 1998) and flow-chamber culture (WOLFAARDT *et al.*, 1994). Mixed biofilms (containing multiple microbial species), such as those occurring on sediments, are more

---

1) Graduate School of Marine Science and Technology, Tokyo University of Marine Science and Technology, 4-5-7 Konan, Minato-ku, Tokyo 108-8477, Japan

2) 6-6-9-105 Kameido, Koto-ku, Tokyo 136-0071, Japan

\*Corresponding author:

Tel: + 81-80-1301-4588

Fax: + 81-467-24-5026

E-mail: nori2601@yahoo.co.jp

difficult to reproduce in the laboratory. In Japan, fish larvae have been cultured in large, on-land water chambers (with capacities of 10–50 m<sup>3</sup>) with powdered foraminiferal limestone as an additive since the early 1990s. Powdered foraminiferal limestone is known to increase the survival of fish larvae (SUZUKI *et al.*, 2008), but the underlying mechanism is unknown. In 2002, when powdered foraminiferal limestone was present at the Minami-Izu Aquaculture Center (Shizuoka, Japan), the sediment surface was covered by an SMB (IJIMA *et al.*, 2009). This suggests that SMBs are promoted by powdered foraminiferal limestone, which may be associated with good water quality. Based on these observations, we initiated experimental attempts to reproduce an SMB in a beaker via the addition of foraminiferal limestone.

SMBs can form on two types of substrata in sea beds and intertidal zones: water-containing types (soft bottom or aquatic sediments such as mud and sand, referred to here as “aquatic sediments”) and solid types (hard bottom or solid substrata such as rocks, referred to here as “solid substrata”). In aquatic sediments, solid substances such as sand and mud are mixed with organic matter and infused with pore water (BOUDREU, 1997). In the seawater-benthic boundary zones at the bottom of shallow sea areas, abundant organic matter sedimentation accumulates from both land and the aquatic environment and is utilized and degraded by many species of microbes (KOIKE, 2000; FENCHEL *et al.*, 2012). Owing to the vigorous degradation of organic matter, remarkable oxygen losses occur at the benthic boundary, and the high concentrations of sulfate ions in the anaerobic marine environment activate microbial sulfur metabolism. Consequently, a great variety of sulfur compounds is formed (GEMERDEN, 1993; SAMUKAWA and HIRO, 1996; RICKARD, 2012). SMBs have been

widely investigated on solid substrata (RIDING and AWRAMIKE, 2000), but their roles in aquatic sediments are less well understood. The laboratory study of the sulfur cycles in a sandy beach habitat using an experimental chamber suggested that bacterial biofilms on sand substrata produce much of the sulfur at the benthic boundaries between seawater and sand substrata (JØRGENSEN, 1974). The sandy beach study indicates that biogeochemical studies of aquatic sediments would be greatly facilitated by the availability of an appropriate laboratory model of aquatic sediments with SMBs.

In the present study, we developed a model experimental system that reconstructs SMBs from naturally occurring microbial assemblages in sediments. We first reproduced SMBs observed on solid substrata in aquaculture tanks and then, using the same method, produced SMBs from natural sediments with bacterial assemblages collected at a variety of sites in coastal environments. We also established an experimental setup that can model an aquatic sediment in the laboratory and produced SMBs on the surface of the modeled aquatic sediment. In order to demonstrate that the experimental model could be used in biogeochemical studies of SMBs, we then analyzed the water-quality parameters (sulfide levels and dissolved oxygen) and bacterial species at the benthic boundary of the model. Experiments were performed in the laboratory of the Minami-Izu Aquaculture Center from 2002 to 2003 and at the Tokyo University of Marine Science and Technology (Tokyo, Japan) from 2009 to 2016. While the laboratory SMBs we obtained may not completely reproduce or be representative of the natural SMBs in coastal environments, further improvement of the reproduction technique will hopefully result in the establishment of a conventional laboratory model for SMBs in natural coastal environments.

**Table 1.** Composition of “Ambrose 400” nutrition granules.

Component	Content (w/w%)
Crude protein	≥ 52
Crude fat	≥ 8.0
Crude fiber	≤ 3.0
Crude ash	≤ 15
Calcium	≥ 2.0
Phosphorus	≥ 1.4

SOURCE: NIPPON FORMULA FEED MANUFACTURING (2009)

## 2. Materials and Methods

To reproduce the SMBs of an aquaculture facility, we collected SMB-containing sediments with a spatula from the bottom of a concrete water chamber (capacity, 20 m<sup>3</sup>) in which fish larvae were reared at the Minami-Izu Aquaculture Center of the Japan Sea-farming Association (currently the Minami-Izu Aquaculture Center of the Fisheries Research and Education Agency, Minami-Izu, Shizuoka, Japan; 34° 36'43" N, 138° 50'55" E). Moreover, seabed sediments containing SMBs were collected from three marine sites during the spring ebb tide at a water depth of about 0.1 m. For sampling, an open, transparent acrylic cylinder (length, 20 cm; inside diameter, 3 cm) was thrust into the benthic layer from above and then immediately closed at both ends. The sites included a canal under the TENNOUZU Bridge (Minato-ku, Tokyo, Japan; 35° 37'24" N, 139° 44'42" E), a canal frontage site at OHI Seaside Park (Ota-ku, Tokyo, Japan; 35° 35' 19" N, 139° 44'58" E), and a shoreline off the SHICHIRIGAHAMA sand beach (Kamakura, Kanagawa, Japan; 35° 18'9" N, 139° 31'26" E). The two former sites occupy the innermost part of Tokyo Bay, and the latter is located along Sagami Bay. Surface substratum samples were also collected from an offshore seabed near HANEDA in Tokyo Bay (35° 30'42" N, 139° 49'48" E) at an approxi-

**Table 2.** Mineral element composition of “Fish Green” foraminiferal limestone powder.

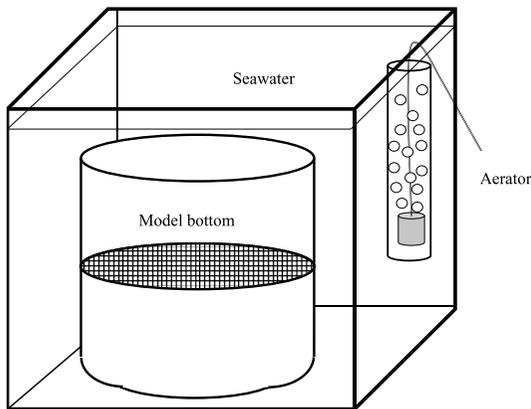
Mineral element	Content (g/kg)
Calcium (Ca)	302
Silicon (Si)	71.7
Magnesium (Mg)	5.94
Aluminum (Al)	5.9
Iron (Fe)	4.62
Sodium (Na)	2.7
Potassium (K)	0.74
Phosphorus (P)	0.21
Manganese (Mn)	0.2
Zinc (Zn)	0.4

SOURCE: GREEN CULTURE (2000)

mate depth of 30 m using an Ekman-Birge bottom sampler (RIGO, Tokyo, Japan). Each substratum sample was submerged in seawater and transported to the laboratory.

The formation of floating biofilms was investigated in standing cultures of microbes nourished with a granular fish-larvae feed [Ambrose 400; Nippon Formula Feed Manufacturing (currently, Feed One), Yokohama, Kanagawa, Japan; particle diameter, 420–650 μm] used as a complex nutrient for microbes, hereafter referred to as nutritional granules, and powdered foraminiferal limestone as an additive (Fish Green, Green Culture, Takaoka, Toyama, Japan; average diameter, 70 μm). The constituents of the nutritional granules and foraminiferal limestone powder are listed in Tables 1 and 2, respectively. For standing culture, the SMB-containing sediment, powdered foraminiferal limestone, and nutritional granules were spread over the bottom of a 100-cm<sup>3</sup> glass beaker or a 220-cm<sup>3</sup> plastic vessel with 80 cm<sup>3</sup> of sand-filtered seawater, which was covered with PVDC film (Kureha, Tokyo, Japan) to prevent evaporation.

Figure 1 shows the culture model system of



**Fig. 1.** Experimental model of biofilm formation at the aquatic benthic boundary. The model bottom (nylon mesh, 50  $\mu\text{m}$ ) was affixed in a transparent acrylic vessel (diameter, 9.5 cm; height, 15 cm) with a closed bottom and an open mouth. The acrylic vessel was submerged in a glass chamber of dimensions 18 cm (D)  $\times$  30 cm (W)  $\times$  24 cm (H).

the seawater-benthic boundary with the sediment biofilm on hydrated substrata. To develop the culture model system, we placed a nylon mesh (pore size, 50  $\mu\text{m}$ ; NYTAL DIN1 10-50, Sefer, Ruschlikon, Switzerland) at the mid-height of a transparent cylindrical vessel (acrylic; inside diameter, 9.5 cm; height, 15 cm) with an open upper end. This system models the bottom surface of a typical aquatic sediment. The use of nylon limits the disintegration that might occur under microbial chemical activity. The space below the mesh was filled with seawater, modeling the pore water of aquatic sediments. This vessel was placed in a compact, glass water chamber (area, 18 cm  $\times$  31 cm; height, 24 cm). The seawater in the water chamber was maintained in a fluidization-free aerobic state. At the Minami-Izu Aquaculture Center, where an SMB covers the bottom of the aquaculture tank, the bottom layer of water is static because the air stones are

suspended at an intermediate depth in the rearing chamber. However, the oxygen saturation in this layer is  $\geq 70\%$ . To reproduce these conditions in the bottom-layer water in the aquaculture tank, we installed an air stone (diameter, 3 cm) in a plastic cylinder (length, 12 cm; diameter, 5 cm) with numerous 3-mm-diameter pores to prevent water movement of the culture system. The system was aerated with an air pump (O3PROOF202, Addx, Hachioji, Japan). Test cultures were prepared with sand-filtered and mat-filtered seawater. The filter mat was a filtering material for aquarium water (Mat Kobo, Tokyo, Japan). The salinity of the filtered seawater was not below 15.0, and the indoor light intensity of the laboratory was not higher than  $6.8 \mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ . Culture experiments were initiated by spreading the seed bacterial population, powdered foraminiferal limestone, and nutritional granules on the nylon surface.

To quantify biofilm formation, we measured the packed cell volume (PCV) and the wet weight. Biofilm samples were placed in a graduated 10-cm<sup>3</sup> tube and centrifuged (H107, Kokusan Centrifuge, Tokyo, Japan) at 2000 rpm for 3 min, and the volume was defined as the PCV. To determine the wet weight of each biofilm, the floating biofilm on the liquid surface was transferred to a nylon mesh (5  $\times$  5 cm; pore size 50  $\mu\text{m}$ ; NYTAL DIN1 10-50, Sefer, Ruschlikon, Switzerland), drained of the biofilm surface water by applying water-absorbing paper from below the mesh, and weighed repeatedly on a precision balance until the weight was nearly constant. The biofilm was observed both macroscopically and microscopically (CK2, Olympus, Tokyo, Japan).

Total acid volatile sulfides (AVSs) were measured using the detector tube method (HEDROTECH-S330, Gastec, Ayase, Japan). AVSs are sulfide compounds that volatilize in water under

acidic conditions, namely, hydrogen sulfide, hydrogen sulfide ions, sulfide ions, and sulfur from non-pyrite iron sulfide. The dominant species are  $\text{H}_2\text{S}$  and  $\text{HS}^-$  (DAVID and MORSE, 2005; SUGAHARA *et al.*, 2012). Hereafter, the total AVSs measured using this method are simply referred to as sulfides or AVSs. The bacterial density or turbidity of the culture water was assayed by determining the absorbance at 660 nm ( $\text{OD}_{660}$ ) in a spectrophotometer (UV160, Shimadzu, Kyoto, Japan; MARDIGAN *et al.*, 2009). The dissolved oxygen (DO) content was measured using a DO meter (YSI-55, Yellow Spring Instrument, Yellow Spring, OH, USA). For the culture system modeling the seawater-benthic boundary of an aquatic sediment, the sensor of the DO meter was vertically inserted at a non-water-agitating speed (4 cm/min) using a slow elevator (made in-house). The water samples from above the model bottom surface that were used for measuring sulfide concentrations and turbidity were collected with a syringe (5 cm<sup>3</sup>) joined to a silicon tube (inside diameter, 2.0 mm) fixed to the side of the sensor. The water was sampled at a depth of approximately 2 cm using another syringe (capacity, 1 cm<sup>3</sup>) and a syringe needle to penetrate the mesh. Oxidation-reduction potential (ORP) was measured using an ORP meter (RM-12P, DKK-TOA, Tokyo, Japan).

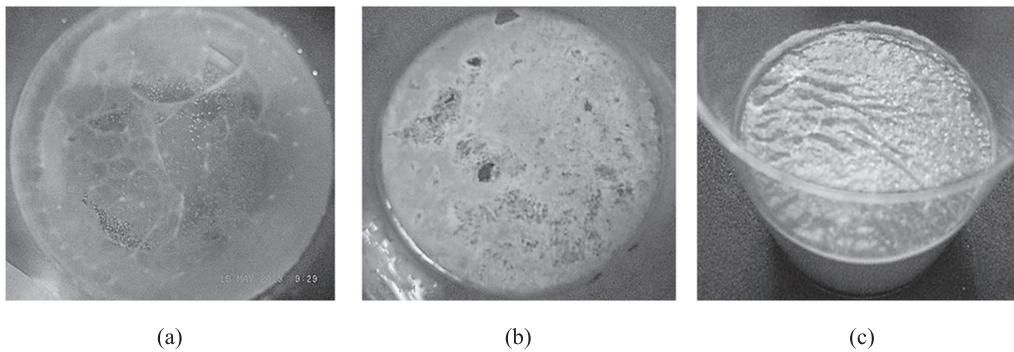
The microbial composition in the white-turbid layer was analyzed by denaturing gradient gel electrophoresis (DGGE) (MUYZER and SMALLA, 1998; ISHII *et al.*, 2000; NISHIJIMA *et al.*, 2010). Samples were frozen at  $-80^\circ\text{C}$  until required for DGGE analysis. DNA was extracted using MORA-EXTRACT (Kyokuto Pharmaceutical Industrial, Tokyo, Japan), and the bacterial 16S rDNA was amplified by a modified touchdown polymerase chain reaction (PCR) method (DON *et al.*, 1991; MUYZER and SMALLA, 1998). A 16S rDNA sequence of approximately 200 bp was

amplified using the 341f-GC and 534r primers. Electrophoresis was performed at 100 V for approximately 12 h. The electrophoresis mixture included the PCR product, 8% (w/v) polyacrylamide gel, and denaturant at concentrations of 25–65%. To check the DNA purity over the band width, the DNA from a band in the electrophoresed gel was extracted and used as the template in a second PCR. The second amplification product was labeled using the Big Dye Terminator v3.1 Cycle Sequencing Kit (Applied Biosystems, Carlsbad, CA, USA), and its nucleotide sequence was determined by an ABI 3130xl Genetic Analyzer System (Applied Biosystems). A homology search and simplified molecular phylogenetic analysis were performed using the Apollon 2.0 program (Techno Suruga Laboratory, Shizuoka, Japan), the International Base Sequence Database (Gen Bank; DDBJ; EMBL), and the Apollon Reference Strain Database DB-BA9.0 (Techno Suruga Laboratory).

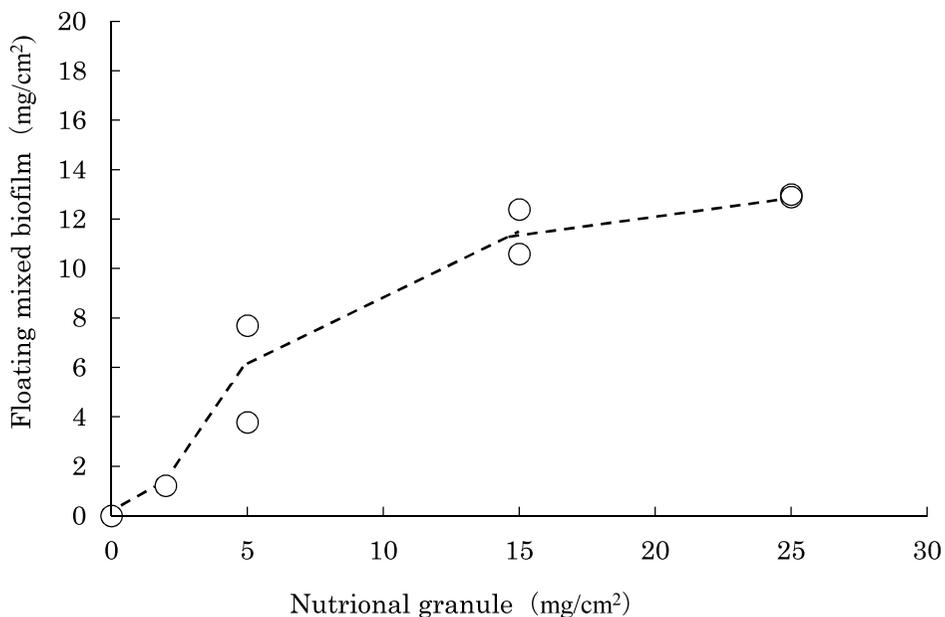
### 3. Results

#### 3.1 Reconstitution of sediment-mixed biofilms above the model bottom surface

In the standing culture of SMB-containing sediment collected from the bottom surface of the water chamber used for rearing fish larvae (sediment weight/base area, about 100 mg/cm<sup>2</sup>), containing added powdered foraminiferal limestone (5 mg/cm<sup>2</sup>) and nutritional granules (10 mg/cm<sup>2</sup>), a floating membrane containing bacteria formed on the surface of the liquid on day 4 of cultivation at  $22^\circ\text{C}$ . Similarly, cultivation with natural coastal sediments collected from the aforementioned sites also yielded floating membranes. With nutritional granules of varying areal densities (5, 10, 15, or 20 mg/cm<sup>2</sup>) and powdered foraminiferal limestone (3 mg/cm<sup>2</sup>), we examined in detail the formation of the floating biofilm produced from the substratum col-



**Fig. 2.** Formation of floating mixed biofilm by the aquatic standing-culture method (20 °C). (a) Liquid sol-like biofilm (day 4 of cultivation). (b) Solid gel-like biofilm (day 7 of cultivation). (c) Gel-like colloidal biofilm deprived of surface water (day 9 of cultivation).



**Fig. 3.** Formation of floating mixed biofilms nourished with different amounts of nutritional granules. The weights of the floating biofilms after 7 days of culture at 20 °C are shown.

lected from a canal under the TENNOWZE Bridge (100 mg/cm<sup>2</sup>). On day 4, a highly fluid, sol-like membrane formed on the liquid surface (Fig. 2 (a)). On day 7, the membrane became thick, elastic, gel-like, and less fluid (0.6 cm<sup>3</sup> PCV with both the 10 mg/cm<sup>2</sup> and 15 mg/cm<sup>2</sup> nutritional granules; Fig. 2 (b)). On day 9, the gel-like

membrane formed using the 20 mg/cm<sup>2</sup> nutritional granules became surface-water depleted and fragmented (Fig. 2 (c)). In contrast, those formed using 5, 10, or 15 mg/cm<sup>2</sup> nutritional granules maintained their gel-like properties with a wet surface. Figure 3 shows the relationship between biofilm formation and nutrient lev-

el. The wet weight of the biofilm increased as the areal density of the nutritional granules increased from 3 to 15 mg/cm<sup>2</sup>. However, increasing the areal density of the nutritional granules to 25 mg/cm<sup>2</sup> yielded no further increase in biofilm growth.

In the culture experiments with a 100-cm<sup>3</sup> beaker under fluidization-free aerobic conditions, where the culture contained a mixture of biofilm-containing sediment from the fish-larvae culture tank (weight/base area, 100 mg/cm<sup>2</sup>), nutritional granules (10 mg/cm<sup>2</sup>), and powdered foraminiferal limestone (5 mg/cm<sup>2</sup>), the water above the sediments in the beaker became transparent, and an SMB formed on the sediment surface on day 4 of cultivation at a water temperature of 22 °C. Under the same conditions, we cultured the floating biofilms (0.2 cm<sup>3</sup> PCV) obtained from the cultivation of the sediment-attached biofilms collected from the four marine locations. The resulting SMBs were similar in appearance and developmental processes to those formed from the sediment collected from the aquaculture tank, indicating that SMBs can be reconstructed on a solid substratum using the culture conditions adopted in this study.

### 3.2 Sulfide and microbial dynamics near the aquatic benthic boundary of the SMB model

The above-described procedure was applied to a model aquatic sediment. To create the model aquatic sediment (Fig. 1), the floating biofilm (0.2 cm<sup>3</sup> PCV) grown from sediments collected under the TENNOUZ Bridge was disrupted and spread over the nylon bottom surface as the seed microbial population, together with nutritional granules (10 mg/cm<sup>2</sup>) and powdered foraminiferal limestone (3 mg/cm<sup>2</sup>). On day 1 of cultivation, the water contained a light suspension within 3 cm above and below the model bottom surface. After 2 days, the slightly turbid

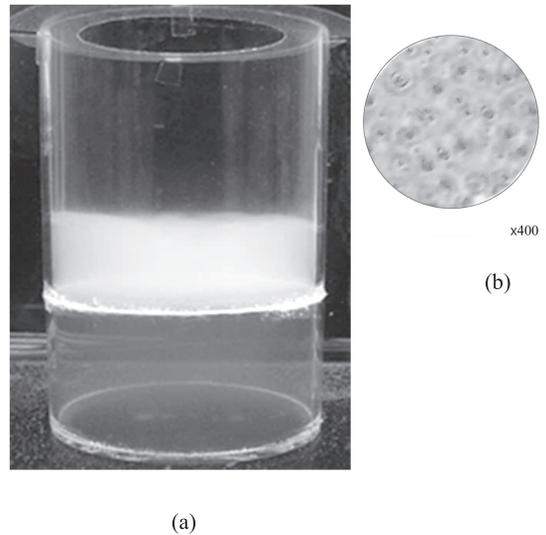


Fig. 4. White-turbid layer above the bottom of the modeled aquatic benthic boundary with biofilm growth after 5 days of culture at 20 °C (a), and a microscopic image of bacteria in the white-turbid layer (b).

phase was distinctly separated from the transparent phase of the water. The boundary was observed just above the model bottom surface, on which a biofilm, presumably an SMB, had formed. On day 3 of cultivation, a dense white-turbid layer was formed above the SMB on the model bottom, remaining until day 11 (Fig. 4(a)). This white-turbid layer was confirmed to be contain densely populated microbes under light microscopy. The microbial cells (approximately 3 μm in diameter) contained green granules and were surrounded by a 30-μm thick coat of translucent colloidal material (Fig. 4 (b)). Once this layer had been established, the DO rapidly decreased below the upper surface of the layer. The DO level in the white-turbid layer was close to zero ( $\leq 0.005$  mg/dm<sup>3</sup>; Fig. 5). The sulfide concentration was nearly uniform (about 0.2 mg-S/cm<sup>3</sup>) in the white-turbid layer above the model bottom surface, slightly lower in the water be-

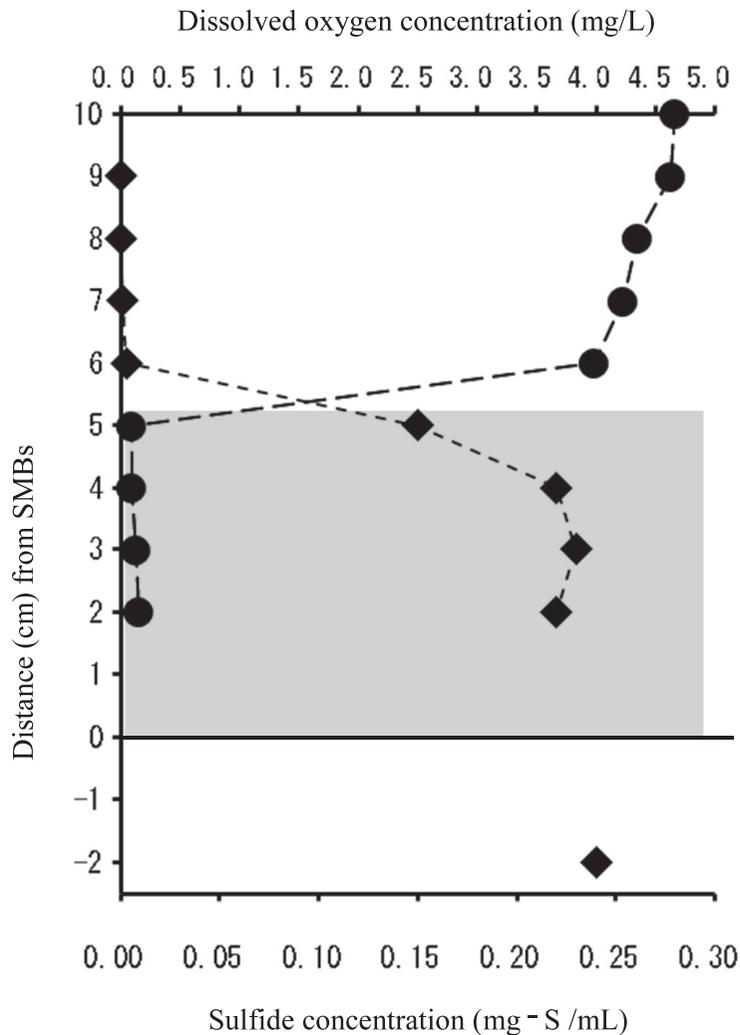


Fig. 5. Vertical distributions of sulfides (AVSs) and dissolved oxygen in the presence of the white-turbid layer in the experimental system after 5 days of culture at 20 °C. Diamonds, sulfides (AVS); circles, dissolved oxygen (DO); shaded area: white turbid layer.

low the model bottom surface, rapidly decreased above the white-turbid layer, and was undetectable in the transparent water above the white-turbid layer (Fig. 5). The turbidity ( $OD_{660}$ ) in the white-turbid layer remained essentially unchanged. Above the white-turbid layer, steep gradients (i.e., chemoclines) of DO and sulfide concentrations were observed (Fig. 5). Forma-

tions of white-turbid layers with similar patterns of sulfides and DO distribution were observed for the substrata collected from all canal and shoreline sites.

Figure 6 shows the effect of the areal density of the nutritional granules on sulfide formation. Increased amounts of nutritional granules increased the maximum sulfide concentrations in

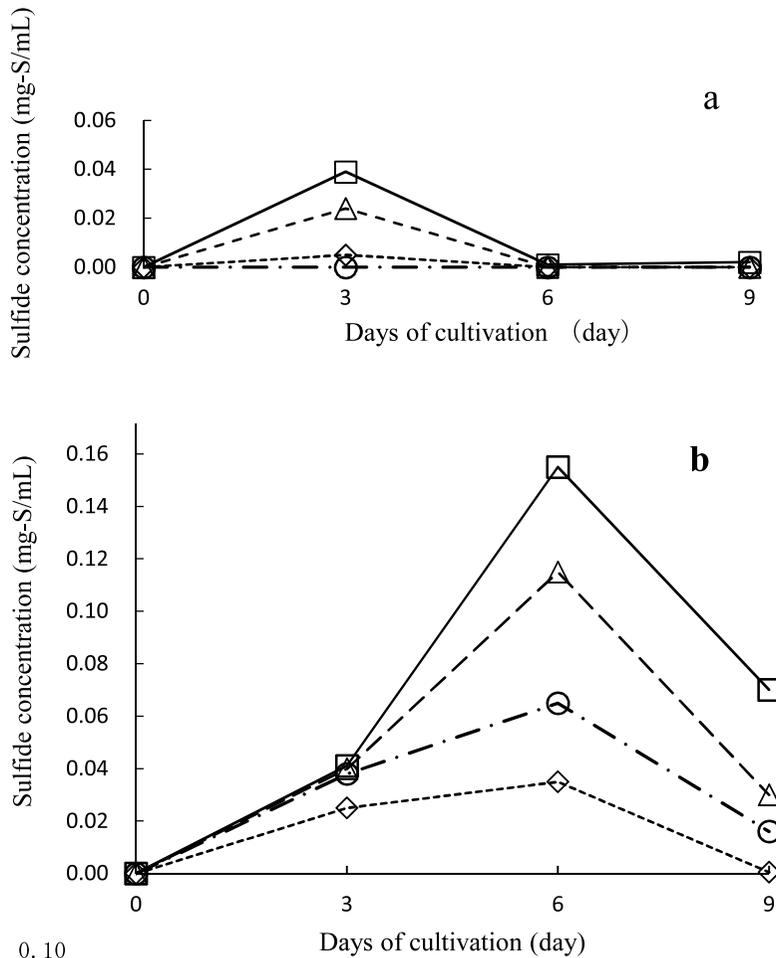
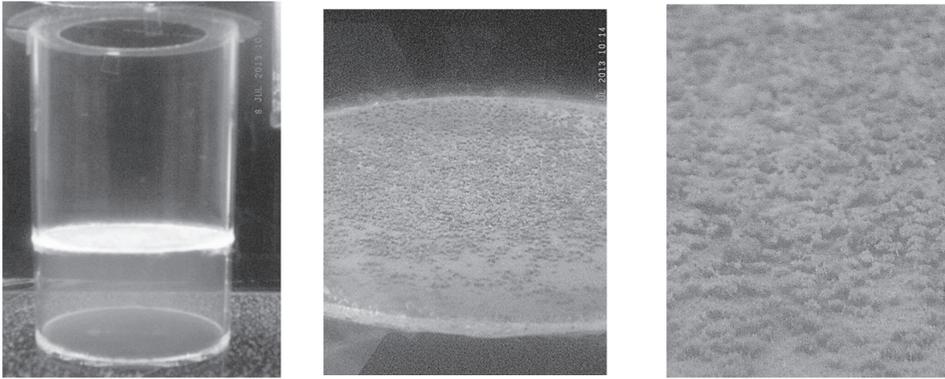


Fig. 6. Sulfide concentration in the water 2 cm above (a) and 2 cm below (b) the bottom of the aquatic benthic boundary model (culture water temperature, 25 °C) with biofilm growth using different amounts of nutritional granules (diamonds, 5 mg/cm<sup>2</sup>; triangles, 7.5 mg/cm<sup>2</sup>; squares, 10 mg/cm<sup>2</sup>; circles, 20 mg/cm<sup>2</sup>) with a fixed volume of crushed colloidal biofilm (0.2 cm<sup>3</sup> PCV) and a constant density of powdered foraminiferal lime stone (3 mg/cm<sup>2</sup>).

the overlying and underlying water in the models containing 5, 7.5, and 10 mg/cm<sup>2</sup> nutritional granules, as well as prolonging the time to formation of the white-turbid layer just above the model surface. The white-turbid layer was maintained while sulfide was detected in the underlying water. In contrast, in the model containing

20 mg/cm<sup>2</sup> nutritional granules, sulfides (AVSs) in the underlying water were detected on day 3 and peaked on day 6 but were never detected in the overlying water (Fig. 6). In addition, no white-turbid layer formed just above the model bottom surface, and the SMB that formed on the model bottom surface was white and only slight-

(a)



(b)

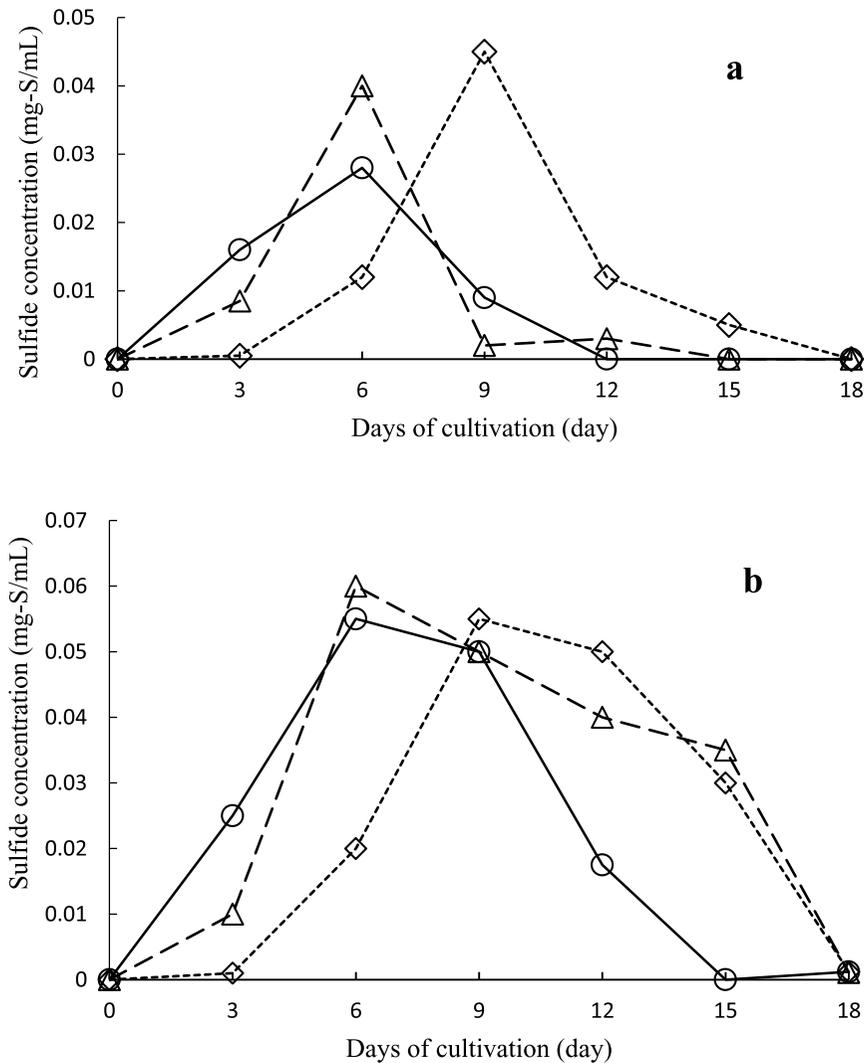


**Fig. 7.** Absence of white-turbid layer above the model aquatic sediment after 7 days of culture with 20 mg/cm<sup>2</sup> of nutritional granule (a), and the biofilm and the white-turbid layer above the model aquatic sediment after 7 days of culture with 10 mg/cm<sup>2</sup> of nutritional granule (b).

ly viscous (Fig. 7).

Figure 8 shows the effect of temperature on sulfide formation in an experiment with the TENNOZU sediment. Below the model bottom surface, the maximum sulfide concentration was nearly independent of water temperature, but above the model bottom surface, it increased with decreasing water temperature. The time required to detect the sulfides also increased with decreasing water temperature, both above

and below the model bottom surface (Fig. 8). The persistence time of the white-turbid layer increased with decreasing water temperature. Above the model bottom, the ORP of the water rapidly decreased over time; moreover, the ORP reduction rate increased with increasing water temperature. At all of the examined water temperatures, the ORP reached -300 mV on days 3-5. Additionally, the white-turbid layer formed when the ORP reached  $\leq -100$  mV above the

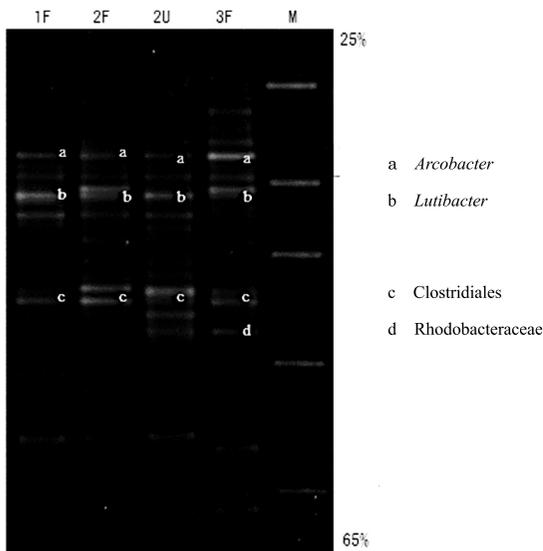


**Fig. 8.** Sulfide concentration in the water above (a) and below (b) the bottom of the aquatic benthic boundary model (nutritional granules, 5 mg/cm<sup>2</sup>) with biofilm growth at different water temperatures. Circles, 25 °C; triangles, 20 °C; squares, 15 °C. The original sediment was collected under the TENNOZU Bridge.

model surface and disappeared when the ORP was restored to  $\geq 0$  mV above the model surface.

Figure 9 shows the PCR-DGGE results of an experiment with the TENNOZU sediment indicating the temporal changes in the bacterial community of samples collected from the white-turbid layer above the model bottom surface.

Three distinct bands (a, b, and c; Fig. 9) appeared on days 1 and 2, and four distinct bands (a, b, c, and d; Fig. 9) were present on day 3 of cultivation. In the sample on day 3 when the white-turbid layer formed, the intensity of band a was markedly more intense than those of the other two bands (b and c). Sequence analysis



**Fig. 9.** DGGE electrophoretogram showing the microbial composition of the water above the model bottom from day 1 to day 3 of cultivation (until formation of the white-turbid layer). Lanes 1F, 2F, and 3F were extracted from the water 2 cm above the model bottom on days 1, 2, and 3, respectively. Lane 2U was extracted from the water 5 cm above the model bottom on day 2. Lane M is a DGGE marker (Nippon Reiji, Tokyo, Japan). The culture was created with disrupted biofilm ( $0.2 \text{ cm}^3$  PCV), nutritional granules ( $10 \text{ mg/cm}^2$ ), and powdered foraminiferal limestone ( $3 \text{ mg/cm}^2$ ) at  $25^\circ\text{C}$ . The original sediment was collected under the TENNOZU Bridge.

indicated that band a was derived from *Arcobacter* sp. (sequence identity, 100%), a microaerophilic sulfur bacterium. Band b was derived from *Lutibacter* sp., with 99% sequence identity to *Lutibacter maritimus*, a marine bacterium of the family Flavobacteriaceae isolated from a tidal flat sediment (CHOI and CHO, 2006), whereas band c was derived from a bacterium of the order Clostridiales (sequence identity, 94%), an obligate anaerobic sulfur-reducing bacterium commonly found in soil. Band d was derived

from a bacterium in the family Rhodobacteraceae (sequence identity, 99%), a purple non-sulfur photosynthetic bacterium that utilizes  $\text{S}^0$ .

## 4. Discussion

### 4.1 Reconstitution of SMBs on the model bottom surface

In this study, floating biofilms from sediment microorganisms were formed on liquid surfaces in standing cultures. It has long been known that *Bacillus subtilis* forms a floating microbial film at the air-liquid interface of a standing culture (MORIKAWA *et al.*, 2006; KOBAYASHI, 2007). In the floating biofilm development of *Shewanella oneidensis*, the pellicle forms in three steps, including rapid formation of a thin pellicle, followed by evolution into a heterogeneous biofilm and finally into a thick homogeneous biofilm (ARMITANO *et al.*, 2013). The floating biofilms in our study also showed three developmental stages: a highly fluid, sol-like membrane stage; a thick, elastic, gel-like membrane stage; and a gel-like membrane with a water-depleted surface stage, which possessed a dry, gel-like consistency (Fig. 2). The growth of the floating biofilms in our experiments was therefore similar to that of other known biofilms (LEWANDOWSKI and BEYENAL, 2013).

As suggested by the PCR-DGGE analysis of the microbial assemblage developed using the floating biofilm as the seed population, mixed species of bacteria constituted the floating biofilms. Unlike separation methods involving homogenization or sonication, in which some portions of a microbial assemblage might be destroyed (REIL, 1994), the floating biofilm of this study developed from the natural sediment community under relatively mild conditions. Using this mild separation technique, we were able to produce a mixed biofilm containing a coexisting set of bacterial species.

Our results further showed that, using a floating biofilm as the seed population, SMBs could be cultured on solid substrata and aquatic sediments with nutritional granules and powdered foraminiferal limestone. Among the SMBs obtained in this study, we speculate that the biofilm produced from the sediments of the aquaculture tank should likely reflect the biofilm that was originally found in the aquaculture facility, as the reproduction conditions were essentially the same as those of the aquaculture tank. Studies using this laboratory-grown biofilm would provide valuable information that could lead to the improvement of aquaculture conditions. Using the same technique, we successfully produced mixed biofilms from seed populations obtained from natural coastal sediments with SMBs. Because the growth of each species in a natural bacterial assemblage changes substantially during artificial cultivation, the species composition in the mixed biofilm produced in the laboratory may be different from the seed population. Nevertheless, the successful laboratory development of a mixed biofilm enabled us to examine the possible role of a mixed biofilm in biogeochemical cycles in a laboratory setup. While the mixed biofilm and the material dynamics in the laboratory setup may not completely represent the processes occurring in natural benthic boundary systems, laboratory studies using this system could provide at least preliminary insights. Furthermore, with additional examination and improvement of the conditions used for biofilm formation in this study, it may be possible to develop a laboratory system of SMBs that could be used in biogeochemical studies of natural marine environments.

#### 4.2 Sulfide and microbial dynamics near the aquatic benthic boundary of the SMB model

Laboratory-grown culture systems that can

model common aquatic sediments in coastal environments such as sand and mud should contribute to studies of sulfur cycles. JØRGENSEN (1974) conducted an extensive study of sulfur cycles in a sandy beach environment in a water chamber by placing sand in a chamber with seawater and adding seagrass to model the conditions on a post-storm sandy beach. This was used to examine a radioactive isotope of sulfur, with sulfides accumulated below the substratum surface. Approximately 90% of the sulfides migrated and diffused upward from substratum surface. At the end of the experiment, the surface of the seagrass was covered with microbial biofilms, including those of sulfur-reducing bacteria. These findings suggested that mixed biofilms are responsible for sulfide accumulation below the sand surface (JØRGENSEN, 1974). A similar sulfur cycling process was observed in our present study. We found that the permeability of the biofilms depended on the areal density of the nutritional granules (Fig. 6); with an abundance ( $20 \text{ mg/cm}^2$ ) of nutritional granules, no sulfide migration from below the substratum surface was observed. It has been generally observed that the biofilm structure is sparse under low-nutrient conditions and dense under high-nutrient conditions (WIMPENNY and COLASSNTI, 1997). This suggests that under abundant nutrient levels, the biofilm structure becomes very dense and blocks sulfide migration.

Unlike the sandy-beach model of JØRGENSEN (1974), our culture model system of the seawater-benthic boundary was fluidization-free above the bottom surface. Therefore, in our study, the sulfides rose from below the substratum surface and accumulated in the water above the model bottom. A dense white-turbid layer formed in the same region. Using a radioactive sulfide, MATSUYAMA (1978) showed that sulfide was formed by sulfur-reducing bacteria in strati-

fied meromictic lakes. In these lakes, the deeper seawater layer is covered by a superficial freshwater layer. However, sulfide formed not in the bottom layers of the water but on the bottom surface, with sulfide concentrations peaking immediately below the bottom surface. Subsequently, the sulfides passed through the bottom surface and accumulated in the anaerobic water immediately above the surface. This sulfur cycle in the benthic boundary of the stratified water of meromictic lakes is generally consistent with the sulfur cycle in our model experiment. Sulfide production and accumulation in bottom-layer water was also observed in the so-called "blue tide" in Tokyo Bay (MARUMO and YOKOTA, 2012). MAKI *et al.* (2013) revealed that sulfides exist in and just above the substratum in the innermost part of Tokyo Bay during the summer. In this part of the bay, the anoxic layer is known to correspond with the sulfide-containing layer just above the bottom (OKADA *et al.*, 2011). The distributions of DO and sulfides in the white-turbid layer just above the model bottom surface in this study were similar to those in Tokyo Bay. Similar white-turbid layers (indicating a pelagic bacterial layer) in the anaerobic water were also observed in previous studies. In the stratified water of the Black Sea and in meromictic lakes such as Lake SUIGETSU and Lake KAIKE, pelagic bacterial layers consisting mainly of photosynthetic bacteria and sulfur-containing bacteria have been observed at intermediate depths (CANFIELD *et al.*, 2005). Furthermore, the substratum surfaces of Lake Suigetsu and Lake Kaike are lined with bacterial mats (MATSUYAMA and SAIJO, 1971; OGURI *et al.*, 2002). KOIZUMI *et al.* (2005) diluted the microbial mat on the bottom surface of Lake Kaike and found that mesophilic sulfate-reducing bacteria belonging to the Delta-proteobacteria and Epsilon-proteobacteria play an important role in sulfur metabolism on the

sediment surface. The sulfur cycle in our laboratory model thus exhibited several similarities to the sulfur cycles in these natural systems.

In the present study, mixed-species biofilms were obtained in the laboratory by simultaneously separating the species from the substratum. The coexistence of these microorganisms indicates that individual microbes cooperate with each other to maintain biofilm function. Moreover, biofilms are associated with the formation of pelagic bacterial layers just above the bottom surface.

## 5. Conclusions

SMBs were reconstructed in laboratory models of seawater-benthic boundaries, and the sulfide dynamics in the boundary zone were examined. Floating biofilms were formed on the liquid surfaces of vessels containing seawater, natural sediment samples, nutritional granules, and powdered foraminiferal limestone. The mixed microbial communities of these biofilms can be used as seed populations for reconstructing benthic biofilms on both solid substrata and aquatic sediments in laboratory models. In our benthic boundary model of biofilms and hydrated substrata, anaerobic layers formed in the seawater below and above the aquatic bottom surface. A mixed biofilm then developed on the model bottom surface. The bacteria in this biofilm produced and accumulated sulfides in the seawater below the bottom surface. These sulfides eventually migrated to the anaerobic seawater above the bottom surface and were probably utilized by the pelagic bacterial layer. The results obtained in our model of benthic boundaries suggest that the model exhibits similarities to the natural benthic boundary environments of seawater.

## Acknowledgements

We thank Ms. NATSUMI YUSA for technical as-

sistance. We thank Prof. MASAAKI MORIKAWA (Hokkaido University) for information and advice regarding the study of mixed biofilms.

### References

- ARMITANO J., V. MEJEAN and C. JOURLIN-CASTELLI (2013): Aerotaxis governs floating biofilm formation in *Shewanella oneidensis*. *Environ. Microbiol.*, **15**, 3108–3118.
- BOUDREU, B. P. (1997): *Diagenetic Models and their Implementation*. Springer, New York, 21 pp.
- BOUDREU, B. P. and B. B. JØRGENSEN (2001): *The Benthic Boundary Layer*. Oxford University Press, New York, 404 pp.
- CANFIELD, D. E., B. THAMDRUP and E. KRISTENSEN (2005): *Aquatic Geomicrobiology*. Elsevier Academic Press, London, 640 pp.
- CHOI, D. H. and B. C. CHO (2006): *Lutibacter litoralis* gen. nov., sp. nov., a marine bacterium of the family Flavobacteriaceae isolated from tidal flat sediment. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.*, **56**, 771–776.
- DAVID, R. and J. MORSE (2005): Acid volatile sulfide (AVS). *Mar. Chem.*, **97**, 141–197.
- DON, R. H., P. T. COX, B. J. WAINWRIGHT, K. BAKER and J. S. MATTICK (1991): Touchdown PCR to circumvent spurious priming during gene amplification. *Nucleic Acids Res.*, **19**, 4008.
- FENCHEL, T., G. M. KING and T. H. BLACKBURN (2012): *Bacterial Biogeochemistry: The Ecophysiology of Mineral Cycling*, Third edition. Elsevier-Academic Press, London, 303 pp.
- GHANNOUM M. and G. A. O'TOOLE (2004): *Microbial Biofilms*. ASM Press, New York, 426 pp.
- GEMERDEN, H. (1993): Microbial mats: a joint venture. *Mar. Geol.*, **113**, 3–25.
- GREEN CULTURE (2000): *Mineral Element Composition of Foraminiferal Limestone Powder*. Green Culture, Takaoka, Japan, 2 pp (in Japanese).
- IJIMA, S., K. WASHIO, R. OKAHARA and M. MORIKAWA (2009): Biofilm formation and proteolytic activities of *Pseudoalteromonas* bacteria that were isolated from fish farm sediments. *Microbiol. Biotechnol.*, **2**, 361–369.
- ISHII, K., T. NAKAGAWA and M. FUKUI (2000): Application of denaturing gradient gel electrophoresis microbial ecology. *Microbes Environ.*, **15**, 59–73 (in Japanese).
- JØRGENSEN, B. B. (1974): The sulfur cycle of a marine sediment model system. *Mar. Biol.*, **24**, 189–204.
- KITAHARA, F. (1994): *Basis of the Interface-Colloid Chemistry*. Kodansha Scientific, Tokyo, 172 pp (in Japanese).
- KOBAYASHI, K. (2007): *Bacillus subtilis* pellicle formation proceeds through genetically defined morphological changes. *J. Bacteriol.*, **189**, 4920–4931.
- KOIKE, I. (ed.) (2000): *Analysis Method of Nitrogen Cycle and its Actuality on Marine Benthic Boundary Layer*. Japan Environmental Management Association for Industry, Tokyo, 195 pp (in Japanese).
- KOIZUMI, Y., H. KOJIMA and M. FOUKUI (2005): Potential sulfur metabolisms and associated bacteria within anoxic surface sediment from saline meromictic Lake Kaiike. *FEMS Microbiol. Ecol.*, **52**, 297–305.
- LEWANDOWSKI, Z. and H. BEYENAL (2013): *Fundamentals of Biofilm Research*, Second edition. CRC Press, New York, 642 pp.
- MAKI, H., H. KANAYA, Y. NAKAMURA and H. AZUMA (2013): *Deterioration of Sedimentary Environment and Assessment of its Impact on Benthic Fauna in Coastal Sea Close to Urbanized Area, FY2010–2012*. NIES Research Project Report No. 106, National Institute for Environmental Studies, Tsukuba, 54 pp (in Japanese).
- MARDIGAN, M. T., J. M. MATRINKO, P. V. DUNLAP and D. P. CLARK (2009): *Brock Biology of Microorganisms*, Twelfth edition. Pearson Education, San Francisco, 1061 pp.
- MARUMO, K. and M. YOKOTA (2012): Review on Aoshio and biological effects of hydrogen sulfide. *Rep. Mar. Inst.*, **15**, 23–40 (in Japanese).
- MATSUYAMA, M. (1978): Limnological aspects of meromictic Lake Suigetsu: its environmental conditions and biological metabolism. *Bull. Fac. Fish. Nagasaki Univ.*, **44**, 1–66.
- MATSUYAMA, M. and Y. SAJO (1971): Studies on biological metabolism in meromictic Lake Suigetsu.

- J. Oceanogr. Soc. Japan, **27**, 197–206 (in Japanese).
- MORIKAWA, M., S. KAGIHIRO, M. HARUKI, K. TAKANO, S. BRANDA, R. KOLTER and S. KANAYA (2006): Biofilm formation by a *Bacillus subtilis* strain that produces  $\gamma$ -polyglutamate. *Microbiology*, **152**, 2801–2807.
- MUZER, G. and K. SMALLA (1998): Application of denaturing gradient gel electrophoresis (DGGE) and temperature gradient gel electrophoresis (TGGE) in microbial ecology. *ANTONIE van LEEUWENHOEK*, **73**, 127–141.
- NIPPON FORMULA FEED MANUFACTURING (2009): Formula Feed for Marine Larval Fish “Ambrose”. Nippon Formula Feed Manufacturing, Tokyo, 7 pp (in Japanese).
- NISHIJIMA, M., D. LINDSAY, J. HATA, A. NAKAMURA, H. KASAI, Y. ISE, C. FISHER, Y. FUJIWARA, M. KAWATO and T. MARUYAMA (2010): Association of thioautotrophic bacteria with deep-sea sponges. *Mar. Biotechnol.*, **12**, 253–260.
- OGURI, K., M. ITO, H. HIRANO, T. HISAMATSU, S. SAKAI, M. MURAYAMA, H. KITAZATO, K. KOIZUMI, M. FUKU and A. TAIRA (2002): Environmental characteristics of water, sediments and microbial activities at Lake Kaiike. *J. Geol. Soc. Japan*, **108**, 23–24 (in Japanese).
- OKADA, T., J. YOSHIDA and K. FURUKAWA (2011): On-site measurement of vertical distribution of hydrogen sulfide using micro sensor and its characteristics. *J. Japan Soc. Civil Engineers, Ser. B3 (Ocean Engineering)*, **67**, 334–339 (in Japanese).
- O'TOOLE, G. A. and R. KOLTER (1998): Initiation of biofilm formation in *Pseudomonas fluorescens* WCS365 proceeds via multiple, convergent signaling pathways: a genetic analysis. *Mol. Microbiol.*, **28**, 449–461.
- REIL, L. A. (1994): Microbial life in sedimentary biofilms - the challenge to microbial ecologists. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **112**, 303–311.
- RICKARD, D. (2012): *Sulfidic Sediments and Sedimentary Rocks*. Elsevier, Amsterdam, 801 pp.
- RIDING, R. E. and S. M. AWRAMIKE (2000): *Microbial Sediments*. Springer-Verlag, New York, 331 pp.
- SAMUKAWA, K. and K. HIRO (1996): *New Sediment Analysis and Chemical Kinetics*. Gihoudou Pub. Tokyo, 233 pp (in Japanese).
- SUGAHARA, S., T. YURIMOTO, K. AYUKAWA, K. KIMOTO, Y. TIGA, M. OKUMURA and Y. SEIKE (2012): Monthly vertical profile of dissolved sulfide in the interstitial water at the pen shell (*Atrina pectinata*) fishing ground in northeastern Ariake Bay. *Jpn. J. Limnol.*, **73**, 23–30 (in Japanese).
- SUZUKI, S., M. NARYUU and K. SAKAE (2008): Improvement technology for healthy seed production of tiger puffer. *Fish Farming Tech. Paper*, **7**, 18–22 (in Japanese).
- WIMPENNY, J. W. T. and R. COLASSANTI (1997): A unifying hypothesis for the structure of microbial biofilms based on cellular automaton models. *FEMS Microbiol. Ecol.*, **22**, 1–16.
- WOLFAARDT, G. M., J. R. LAWRENC, R. D. ROBERTS, S. J. CALDWELL and D. E. CALDWELL (1994): Multicellular organization in a degradative biofilm community. *Appl. Environ. Microbiol.*, **60**, 434–446.

Received: March 16, 2017

Accepted: August 17, 2017

## さめ類の漁業生物学的調査用縦延縄の開発

上嶋紘生<sup>1)</sup>\* · 生井沢知佳<sup>1)</sup> · 戸高耀介<sup>1), 2)</sup> · 塩崎航<sup>1)</sup> · 藤波裕樹<sup>3)</sup> ·  
宮崎唯史<sup>1)</sup> · 塩出大輔<sup>1)</sup> · 根本雅生<sup>1)</sup>

### Development of a vertical longline for fisheries biological studies on sharks

Hiroki JOSHIMA<sup>1)</sup>\*, Chika NAMAIZAWA<sup>1)</sup>, Yosuke TODAKA<sup>1), 2)</sup>, Ko SHIOZAKI<sup>1)</sup>, Yuki FUJINAMI<sup>3)</sup>,  
Tadashi MIYAZAKI<sup>1)</sup>, Daisuke SHIODE<sup>1)</sup> and Masao NEMOTO<sup>1)</sup>

**Abstract:** We newly developed a fishing gear Vertical Longline for Sharks (VLS) to effectively study the depth distribution of sharks, and compared its efficiency with that of horizontal longlines. This gear consists of a main line (245 m), branch line (5 m each), and galvanized iron hooks (13 pcs). Trial operations with VLS were conducted monthly in Sagami Bay from July 2014 to February 2016 using RT/V Seiyō Maru (170 t) of Tokyo University of Marine Science and Technology. The problems of VLS were twisting of the main line and the branch lines, which often caused tangling to each other. Making major adjustment 5 times through 20 trial operations, we reduced the rate of the branch lines' tangling by 16% and improved the working efficiency of VLS. Based on the results, we discussed the causes of (1) the main line's twisting and (2) the branch lines' tangling. Catch per unit effort (CPUE: number of sharks captured per 1,000 hooks) of VLS was 9.7, showing the fishing efficiency was comparable to horizontal longlines conventionally operated in Sagami Bay. To be noted is that Shortfin mako shark was captured for the first time during the operation in January 2015, and eventually 6 sharks in total by February 2016.

**Keywords:** vertical longline, shark, Sagami Bay, RT/V Seiyō Maru

1) 国立大学法人 東京海洋大学 学術研究院  
〒108-8477 東京都港区港南 4-5-7  
Tokyo University of Marine Science and Technology, 4-5-7 Konan, Minato-ku, Tokyo 108-8477, Japan.

2) 日本マントルクエスト株式会社  
〒103-0012 東京都中央区日本橋堀留町 2-4-3  
ユニゾ堀留町二丁目ビル 5F  
Mantle Quest Japan Company Ltd., 2-4-3 Nihonbashi horidome-cho, Chuo-ku, Tokyo 103-0012, Japan.

3) 国立研究開発法人 水産研究・教育機構 国際水産資源研究所  
〒424-8633 静岡県静岡市清水区折戸 5-7-1  
National Research Institute of Far Seas Fisheries, 5-7-1 Orido, Shimizu-ku, Shizuoka, Shizuoka 424-8633, Japan.

\*連絡著者：上嶋紘生

〒108-8477 東京都港区港南 4-5-7

国立大学法人 東京海洋大学 学術研究院

E-mail : joshima@kaiyodai.ac.jp

## 1. はじめに

さめ類は、主に延縄によって漁獲される。鰭が食材として特に珍重され、魚肉もすり身のほか、医薬品、革製品、化粧品など多方面に利用可能であり、重要な水産資源である。一方で、希少な野生動物として保護の対象となっている。ワシントン条約 (Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora: CITES = 絶滅のおそれのある野生動植物の種の国際取引に関する条約) 付属書Ⅱに掲載され国際取引が規制されるさめ類の種数は増加傾向にあるが、国際自然保護連合 (International Union for Conservation of Nature: IUCN) レッドリストは、さめ類の資源状態を判断するには情報不足の種が多いと指摘している。この指摘は、さめ類の資源や生態に関する情報を補うには時空間的に広く頻度の高い調査が必要であることを示している。水産生物の生態を理解するためには、生息域から生体標本を採取し、体長・体重測定、種の判別や成長段階の確認、年齢査定などの科学的な調査が必要であることは自明である。このような調査では、生息海域や深度なども重要な情報である。

ヨシキリザメ (*Prionace glauca*) は、日本で最も水揚量の多いさめである。本種の北太平洋における回遊モデル (中野, 1994) によると、日本近海は 20–30°N で交尾した雌が出産のために北上する際に通過する緯度帯に位置する。北太平洋北部に生息する幼齢個体については、未成魚期に雌雄は生息域の分離傾向を強めるが、成魚は赤道域から 40°N まで広く分布する。この中野 (1994) の研究は、北太平洋での本種の漁獲データを解析したものである。しかし、相模湾のような沿岸域ではデータがなく、生態は明らかになっていない。

そこで我々は、さめ類の漁業生物学的調査のため、東京海洋大学の研究練習船青鷹丸 (170 t) を用いて 2011 年度から相模湾で浮延縄試験操業を行ってきた (根本ほか, 2014; 戸高ほか, 2014) が、漁具の敷設深度の推定が容易ではないことが問題として挙げられた。漁具の水中形状の推定には、敷設した縄がカタナリー (懸垂線) 状となることを仮定して漁具の深度を計算する方法や、漁

具に深度計を取り付けて釣針の深度を計測する方法がある (水野ほか, 1997; Mizuno *et al.*, 1998)。しかし、すべての釣針に深度計を取り付けることはできないこと、および、ふかれ (漁具が流れを受けて敷設深度が浅くなること) の影響を考慮して漁具の三次元的形状を解析する必要があることから、浮延縄操業によって漁具形状を正確に把握し釣針の敷設深度を高精度に得ることは困難であった。一方、釣針の敷設深度の推定精度が向上すれば、調査対象魚種の鉛直分布の理解、さらに生息深度と水温や塩分などの環境要因との関係の解明につながると期待される。

そこで本研究では、縦延縄によるさめ類の鉛直分布調査のために、多数の釣針を敷設できる漁具を新たに開発した。縦延縄漁業は、立縄釣漁業ともいわれ、一端を浮子で海面上に保持し海中で垂直に立つようにした釣り漁具を用いる (金田, 1995)。縦延縄漁具と浮延縄漁具の違いは、浮子に浮縄を通じて繋げられた幹縄を上下に敷設する点である。縦延縄の幹縄には、浮延縄と比べて多数の枝縄が取り付けられる (Fig.1)。

斉藤 (1992) は、縦延縄の利点として、(1) 流れを受けてもふかれにくいこと、(2) 投縄方法 (船速、投入手順など) に関係なく望む深度に釣針を敷設できることを指摘している。山口 (2011) は、縦延縄操業によってかじき類の生息深度を測定し、小笠原近海域のメカジキ (*Xiphias gladius*) は、500 m 以深に生息すること、および、針掛かり後に鉛直移動することを示した。このように、縦延縄は調査対象魚種の遊泳層や鉛直移動を知るために有用な漁具である。しかし、縦延縄の欠点として、絡みが多く揚縄作業に時間がかかること、および、海面に浮いた浮子の一つ一つ回収するために揚縄時の操船に時間がかかることが挙げられる。これらの問題を解決し、さめ類を対象とした縦延縄操業の作業効率を向上させるため、2014 年 7 月から 2016 年 2 月の期間に 20 回の試験操業を行った。

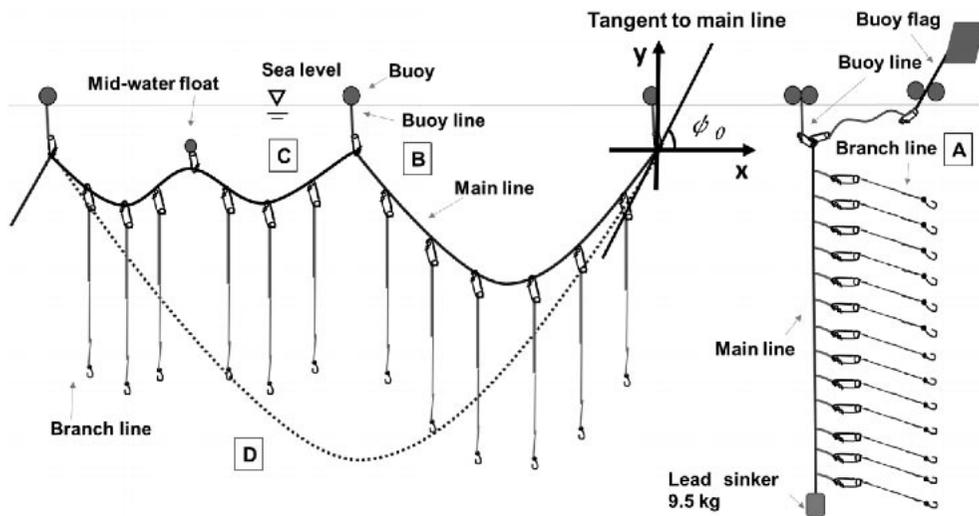


Fig. 1 Vertical and horizontal longline at RT/V Seiyō Maru.

A: Vertical longline. Main line: 245 m, branch line: 5 m, the distance between 2 branch lines: 17.5 m. Each vertical longline is connected with buddy line of  $245 \text{ m} \times 3 (= 735 \text{ m})$  to the top of main line. B: Ordinary longline. Main line: 245 m, the distance between 2 branch lines: 35 m. C: Longline with mid-water float. Main line: 245 m, the distance between 2 branch lines: 30.6 m. D: Deep longline. Main line:  $245 \text{ m} \times 2 (= 490 \text{ m})$ , the distance between 2 branch lines: 35 m. We set the x-axis to the horizontal, and the y-axis to the vertical. The angle of tangent of the main line at  $(x, y) = (0, 0)$  is  $\phi_0$ .

## 2. 材料と方法

### 2.1 縦延縄漁具の構成

さめ類を対象とした縦延縄漁具を新たに開発するにあたり、青鷹丸（東京海洋大学の研究練習船；170 t）が相模湾で使用しているまぐろ・さめ類対象の浮延縄漁具を参考とした（Fig. 1B）。この浮延縄漁具の構成は、1鉢あたりの幹縄長  $\phi 6.4 \text{ mm} \times 245 \text{ m}$  ビニロンロープ（三撚り，Z撚り），枝縄長 20 m（ビニロンロープ 10 m + ナイロンコード 8 m + カナヤマ 2 m），浮縄長 5 m， $\phi 30 \text{ cm}$  の浮子（浮力 118.50 N，耐圧 300 m）である。さめ類を対象とした漁具は、枝縄の素材にテグスではなくワイヤーを使用しており，強度に優れ，さめの歯によって切断されにくい特徴がある。新漁具の幹縄にも，青鷹丸の浮延縄漁具と同様に 1鉢あたりの幹縄長  $\phi 6.4 \text{ mm} \times 245 \text{ m}$  のビニロンロープ（三撚り，Z撚り）を用いた。針を深場に敷設する場合には，上記の幹縄を鉛直方向に連結

した。青鷹丸の浮延縄操業においては 1鉢に 2尾以上のさめ類が掛かると浮子が引き込まれて沈むことがあるため，新漁具では浮延縄用の浮子 2個（ $\phi 30 \text{ cm}$ ）を 1組として使用した。

### 2.2 縦延縄漁具の改良

2014年7月製作のプロトタイプによる試験操業では，92%の枝縄が幹縄に絡み，漁獲は全くみられなかった。これは，ワイヤーの比重が大きいため幹縄が垂れ下がり枝縄に接近しすぎていたためと考えられた。特に揚縄時に，強い張力による伸張で回転する幹縄に枝縄が絡んだ。漁業者が「ビリ巻き」と呼ぶ現象である。ビリ巻きが起ると，絡みの取り外しと，傷ついた漁具の補修に時間がかかる。縦延縄操業を継続的に行うためには，このような負担の低減が望まれる（Fig. 2）。

ビリ巻きの発生する様子を船上で撮影して観察したところ，幹縄が水面から上がった後に空中で

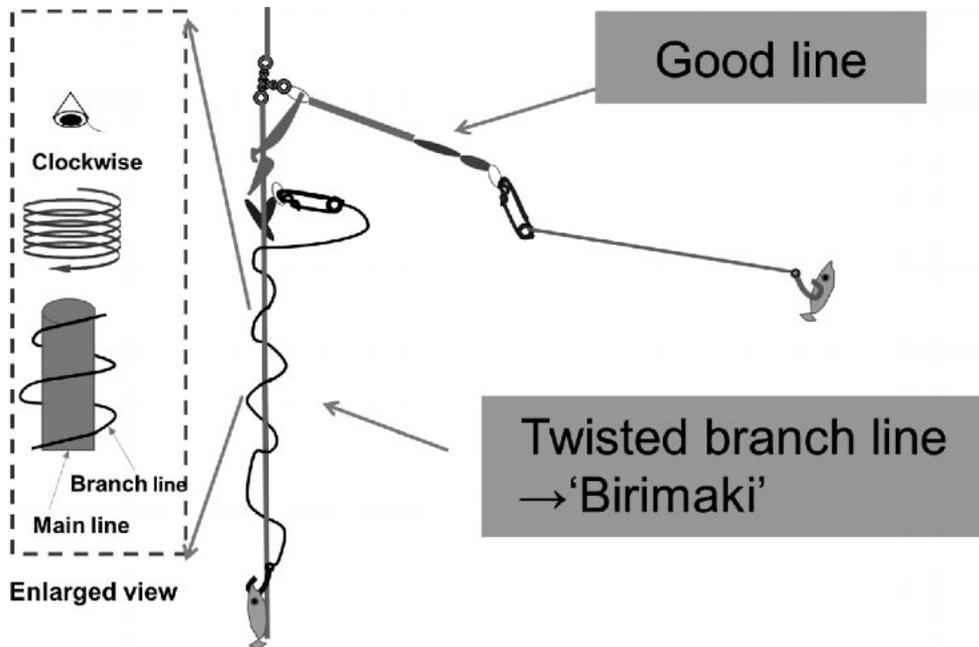


Fig. 2 Twisted branch line 'Birimaki' and its enlarged view. Branch line forms spiral shape and rotates around in a clockwise direction.

回転して枝縄が巻き付いていた。この時、枝縄が幹縄に絡みつく方向はほぼ同じであり、船上から揚縄中の幹縄を見下ろした方向に対して反時計回りであった (Fig. 2, 拡大図)。これ以外に、水中で枝縄がより複雑に絡む場合 (例えば、釣針と餌が幹縄に絡むこと) もあった。そこで、絡みを防ぎ作業時間を短縮するために、以下の5段階で投縄方法や漁具構成を改良した (Table 1, ver. 1.0 から ver. 5.3)。これらを順に説明する。

(1) 柔軟性のある天秤の製作と採用 (Table 1, ver. 2.0)

齊藤 (1992) は、天秤による絡み対策の有用性を指摘しながらも、ラインホーラーでの巻取りの作業性には改善の余地があると指摘していた。すなわち、一般的な金属製の天秤は、幹縄をラインホーラーで巻き取る際に破損する可能性があった。そこで本研究では、破損しにくい柔軟性のある天秤を製作した。

まず、撚り取りのために、幹縄と枝縄の接続部

にシルバー双葉親子サルカン (小野金属工業, 2×2) を取り付けた。破断力は 3.1 kN と強固であり、まぐろ浮延縄操業でさめ類を漁獲している実績がある。天秤の腕部分として、シルバー双葉親子サルカンに三撚り (Z撚り) ビニロンロープ φ4 mm を取り付けて、スナップが容易に掛けられるように末端をアイ加工した。さらに、ロープ形状の矯正を目的としてウレタンエアホース (内径×外径: 8.5 mm×12.5 mm) 30 cm を上記のビニロンロープに被せた (Fig. 3)。ウレタンエアホースとフタバ親子サルカンを繋げるために、接着剤付きの熱収縮チューブ (Raychem, MWTM25/8) を 4 cm に切断して熱を加えて接着し、接続部を強固にして天秤の腕が立ちやすくなるようにした。天秤先端のアイには枝縄のスナップ (空中重量 60 g) が繋がるため、操業時に水中で中性浮力になるように浮力 30 g または 32 g の浮子 (ジェントル, GT-3P または GT-4) を取り付けて浮力を調整した。

Table 1. History of fishing gear improvement from ver. 1.0 to ver. 5.3.

Fishing gear version	Main line length (m)	Spreader bar	Branch line					
			Number per main line	Interval (m)	Nylon cord (m)	Kanayama (m)	PVC float	Hook size (sun)
1.0	490	—	6	35.0	8	2	—	4.0, 3.0
1.1	490	Pair swivel	6	35.0	8	2	—	4.0, 3.0
2.0	245	yes	12	17.5	—	2	—	4.0, 3.0
3.0	245	yes	12	17.5	—	5	—	4.0, 3.0
4.0	245	yes	12	17.5	—	5	GT-3P	4.0, 3.0
4.1	490	yes	13	17.5	—	5	GT-3P	4.0, 3.0
5.0	490	yes	13	17.5	—	5	GT-3P, GT-1	4.0, 3.6, 3.0
5.1	490	yes	13	17.5	—	5	GT-1	4.0, 3.6
5.2	490	yes	13	17.5	—	5	GT-1	4.0, 3.6
5.3	490	Spreader bar, swivel	13	17.5	—	5	GT-1	4.0, 3.6

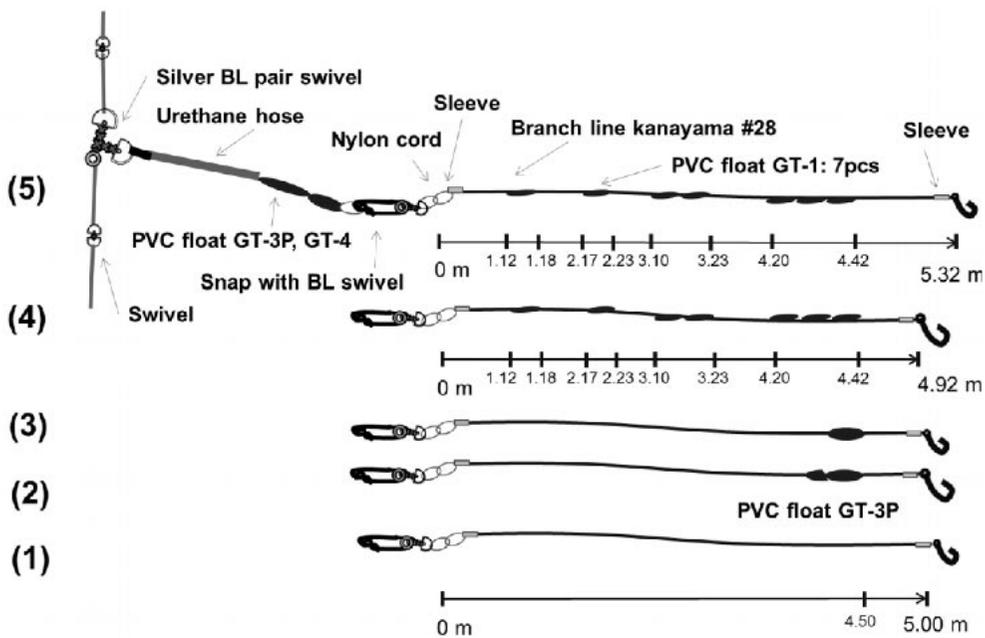


Fig. 3 Buoyancy controlled spreader bar is a soft, tough, and easy handling device. The spreader bar consists of silver BL pair swivel, rope, urethane hose, heat shrink tube and PVC float. Rope is connected to snap and silver BL pair swivel through the inside of urethane hose, and the rope to be straight along the urethane hose sleeve. Snap and spreader bar were adjusted to obtain neutral buoyancy with PVC float. Breaking strength of the pair swivel is 3.1 kN, being enough for shark fishing in Sagami Bay.

- (1) Length 5.00 m, no float, hook with ring: size 3.0 sun  $\approx$  0.09 m, 3.6 sun  $\approx$  0.11 m, 4.0 sun  $\approx$  0.12 m
- (2) Length 5.00 m, PVC float GT-3P: 1.5 pcs, hook with ring: size 4.0 sun
- (3) Length 5.00 m, PVC float GT-3P: 1 pcs, hook with ring: size 3.6 sun
- (4) Length 4.92 m, PVC float GT-1: 7 pcs, hook with ring: size 4.0 sun
- (5) Length 5.32 m, PVC float GT-1: 7 pcs, hook with ring: size 3.6 sun  $\approx$  0.11 m

\*1 sun = 30.3 mm

## (2) 枝縄長の調整 (Table 1, ver. 3.0)

本漁具には、針掛りした深度を効率よく調べるために、多数の枝縄を絡みを防ぎながら等間隔に取り付ける必要があるため、枝縄を最適な長さに調整した。青鷹丸の船首乾舷は4 mと高いため、枝縄が短いと漁獲物を取り込む際に宙吊りになる。一方、本船の船尾甲板は漁獲物を取り込む十分なスペースと電動ウインチ類が備えられているので、乾舷の高さ(4 m)とハンドレール高さ(1 m)を考慮して漁獲物を船尾まで取り回す必要がある。5 mは、これらの条件を考慮した必要最低限の枝縄長である。

## (3) 釣元付近への浮子の追加 (Table 1, ver. 4.0)

枝縄が流れを受けて水平方向に広がりやすくなるように、枝縄にも浮子を取り付けて浮力を与え調整した。具体的には、浮力30 gの浮子(GT-3P)を釣元から50 cmの箇所に取り付けた(Figs. 3-2, 3-3)。

## (4) 釣元ワイヤーと釣針の浮力の中立化 (Table 1, ver. 5.0)

枝縄が流れの影響を受けて伸張しやすくするために、枝縄全体の浮力が中立となるように、ワイヤー長と釣針の重量に応じた浮子を取り付けた(Figs. 3-4, 3-5)。枝縄ワイヤーの空中重量が1 mあたり10 gであることから、浮力10 gの浮子(ジェントル, GT-1)を約1 m間隔で取り付けた。2種類の釣針(4寸20 gと3.6寸16 g)の重量の違いに応じ、浮子取り付けのワイヤー間隔を微調整して枝縄全体を中性浮力にした。

## (5) 幹縄へのサルカン取り付け (Table 1, ver. 5.3)

幹縄の撚りを抑制するため、2015年11月以降は幹縄の天秤取り付け位置(フタバ親子サルカン)の上下50 cmの箇所にステンレスサルカンを一個ずつ取り付けた。

以上のように製作した漁具を、英語の Vertical Longline for Sharks の頭文字から「VLS」と命名した。以後、本論文ではVLSと称する。

## 2.3 試験操業方法

試験操業は、相模湾中央部のS1-S4で囲まれた範囲で実施した(Fig. 4)。投縄作業は、2014年9月(VLS ver. 1.1)には、船を停止した状態で錘から漁具を投入していたが、絡みが多かったことから2014年12月(VLS ver. 3.0)より、航走しながら大旗や浮子を投入し、最後に錘を入れる方式に変更した。幹縄に17.5 mごとに取り付けてある天秤の先端のアイにスナップで枝縄を付け、最後に錘を投入して投縄作業が終了する。投縄船速は約3 ktに定めた。餌は主に冷凍さば(150-250 g)を、3寸または3.6寸の鉄製(亜鉛メッキ)ムツ針と4寸の鉄製(亜鉛メッキ)ネムリ針に取り付けた。錘には9.5 kgの鉛を用いた。漁具の浸漬時間は2-5時間であった。

2015年2月(VLS ver. 4.1)以降の操業では、鉛直方向に幹縄を2鉢(全長490 m)連結したものを4組分、それぞれA, B, C, Dと名付けて合計で8鉢相当の漁具を用意した。この2鉢ごとに4回の投縄作業を行う際には、揚縄時の操船を容易にするため、それぞれの縦延縄漁具は枝縄を取り付けていない幹縄(空縄)3鉢(245 m × 3 = 735 m)で繋いだ。投縄時の船尾の配置としては、中央左舷側を枝縄取り付けと餌投げ、中央部を幹縄投げ、右舷側を空縄と浮子投入とした。なお、相模湾は中西部太平洋まぐろ類委員会(Western and Central Pacific Fisheries Commission: WCPFC)の管理下にあり、延縄漁業の海鳥偶発捕獲に関する規制として混獲回避策をとることが求められている。縦延縄では枝縄長が5 mと短く、投縄時に投餌機を使用しないため、釣針がプロペラ後流による吹上げの影響を受ける範囲に投下され、初期沈降速度が遅くなる恐れがある。混獲防止対策としてビニロンロープにPP(ポリプロピレン)バンドを取り付けた鳥よけライン(清田・横田, 2010)を使用して、釣針が鳥よけラインの範囲下で着水して沈降するようにした。本研究の試験操業においては、海鳥の混獲は一度もなかった。

揚縄作業は、船首右舷側に設置されたラインホーラー(泉井鐵工所, 2S-4CA, 低巻上げ速度109 m/min)により行った。幹縄は、ハンドレール

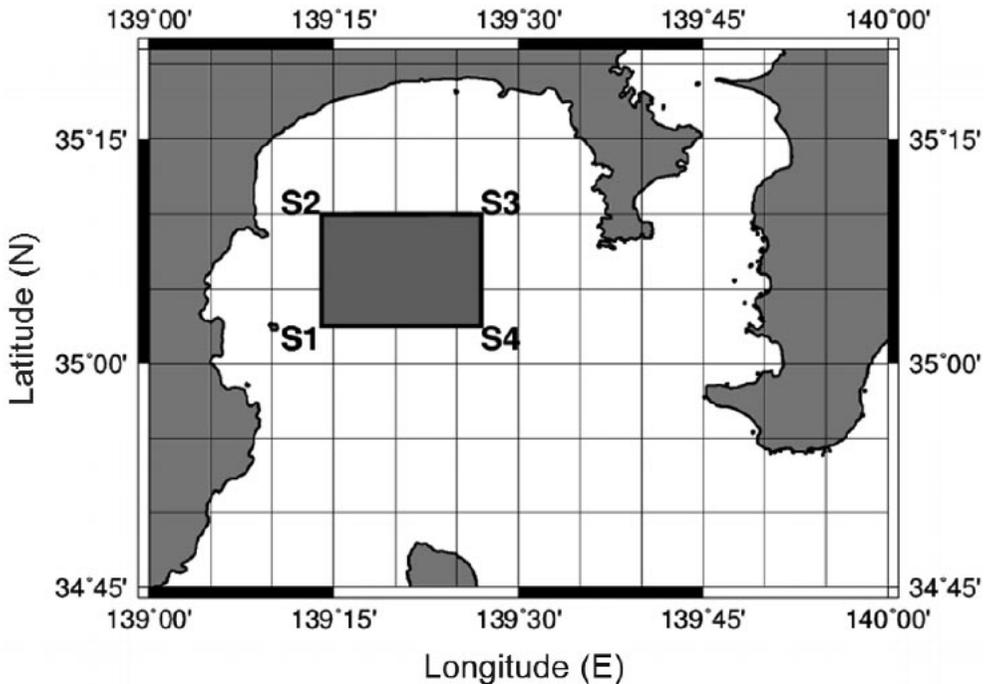


Fig. 4 Fishing survey ground in Sagami Bay.

S1: 35°02.5'N/139°14.0'E, S2: 35°10.0'N/139°14.0'E,

S3: 35°10.0'N/139°27.0'E, S4: 35°02.5'N/139°27.0'E.

ルに取り付けたサイドローラーを通り、ラインホーラーに巻かれる手前でブレーキをかけて一度停止させた。その際に枝縄のスナップを取り外し、天秤を持ちながらゆっくりとラインホーラーを通過させた。幹縄から取り外された枝縄は手作業でコイルして籠にまとめて収納した。

### 3. 解析方法

#### 3.1 CPUE

本研究では、浮延縄と縦延縄の釣獲率を比較するために、釣針 1,000 本 (漁獲努力量) あたりの漁獲量 (尾) を用いて、それぞれの CPUE を算出した。なお、本研究における CPUE とは、一般的には Nominal CPUE として区別されるものである。漁場、漁具、季節による要素を含む指標であるが、以後は Nominal CPUE のことを CPUE と称する。

#### 3.2 延縄漁具の敷設深度

幹縄が水中でカタナリー (懸垂線) 状をなすと仮定した場合、全長  $L = 2\ell$  (m) の幹縄が短縮率  $k$  として、 $(n-1)$  本付けの幹縄の  $j$  番目の枝縄の位置  $(x_{n-j}, y_{n-j})$  は、下記の式 (1) (2) で求められる (吉原, 1951)。

$$x_{n-j} = (\ell \times \cot \phi_0) \times \cosh^{-1} \sqrt{1 + \tan^2 \phi_0 (1 - 2j/n)^2} \quad (1)$$

$$y_{n-j} = \ell \sqrt{(1 - 2j/n)^2 + \cot^2 \phi_0} \quad \text{ただし } j \leq [n/2] \quad (2)$$

ここで、 $x$  と  $y$  はそれぞれ水平軸と鉛直軸である。 $y_{n-j}$  が  $j$  番の枝縄の敷設深度である。浮縄と幹縄の連結点である  $(x, y) = (0, 0)$  の点における幹縄の接線が  $x$  軸となす角度  $\phi_0$  は、 $k$  に依存して算出される (Fig. 1D)。

青鷹丸の浮延縄漁具は、通常は幹縄 1 鉢あたり枝縄 6 本付け (Fig. 1B) とするが、指定した場所

10 鉢相当においては、それぞれ2 鉢ごとに浮子を入れて枝縄 12 本付け (Fig. 1D) の深縄とした。他の 15 鉢は 7 本付けの幹縄を用い、中間の 4 枝目には枝縄の代わりに中立ブイ (Shiode *et al.*, 2005) を取り付けて (Fig. 1C), 合計で枝縄 6 本付け 40 鉢相当の漁具構成とした。したがって、枝縄 6 本付けの通常縄の場合では  $n = 7$ ,  $L = 245$  m, 深縄の枝縄 12 本付けの場合では  $n = 14$ ,  $L = 490$  m となる。そこで、青鷹丸の浮延縄漁具について短縮率  $k = 0.5, 0.7, 0.9$  における通常縄と深縄の釣針の敷設深度について、(2) 式の計算値に枝縄長 20 m を加えると、釣針の敷設深度は通常縄では 47–122 m, 深縄では 47–211 m となる。VLS では、枝縄取り付け部である天秤の位置を基準とすると、釣針の敷設深度は 22.5–477.5 m の範囲にあると推定される。縦延縄の枝縄番号は、表層の枝縄を 1 番とし、深さ方向に 26 番までとなる。

### 3.2 ビリ巻き発生率の算出方法

漁具の改良によってどれほどビリ巻きの発生が抑制されたかを明らかにするため、ビリ巻き発生率のパーセンテージ (各操業回におけるビリ巻きの発生数を使用した枝縄数で除し、100 を乗じた値) を算出した。ここで、枝縄が幹縄に 3 回以上巻き付いた場合を「ビリ巻き」と定義した。解析には、2014 年 9 月 (VLS ver. 1.1) から 2016 年 2 月 (VLS ver. 5.3) に実施した 19 回の縦延縄操業の結果 (680 針) を用いた。

## 4. 結果

### 4.1 ビリ巻き発生率の変化

2014 年 9 月 (VLS ver. 1.1) から 2016 年 2 月 (VLS ver. 5.3) の期間に実施した 19 回の縦延縄操業結果について、漁具改良バージョンごとに (ver. 1.1 – ver. 5.3) 枝縄の使用数とビリ巻きの発生数をヒストグラムとしてまとめ、ビリ巻き発生率を重ねて示した (Fig. 5) VLS ver. 1.1 では 95.8% であったビリ巻き発生率は、VLS ver. 2.0 の天秤の導入により 52.8% まで減少した。とくに、VLS ver. 3.0 では、投縄を航走しながら行う

ことに加えて、錘を最後に入れることで、20% 以下に低減できた。しかし、縦延縄漁具を鉛直方向に 2 鉢繋げるようになった VLS ver. 4.1 と ver. 5.0 においては、ビリ巻き発生率が増加した。

そこで、縦延縄漁具を鉛直方向に 2 鉢繋げている VLS ver. 5.2 において、ビリ巻きが発生する枝縄番号の特定を行った。2015 年 9 月–10 月 (VLS ver. 5.2) の揚縄時に、枝縄番号ごとに 3 鉢分の絡み数を数えたところ、1–7 番目までの枝縄ではビリ巻きは発生しておらず、8 番目以降の枝縄にビリ巻きが発生していた (Fig. 6)。Figure 6 では、期間中に 31 回の枝縄絡みが発生しているが、1 番から 26 番の枝縄絡み数の累積曲線を作成した結果、1–13 番の累積した絡み数 5 回は全体の 16.1% にあたり、残りの 83.9% の絡みが枝縄の 14 番以降であった。このことは、枝縄の敷設深度が大きいほどビリ巻き発生率が高かったことを示している。

VLS ver. 5.2 では、期間中のビリ巻き発生率が 39.7% と高かったため、VLS ver. 5.3 以降は幹縄にサルカンを取り付けたところ、ビリ巻き発生率を 15.4% に低減でき、サルカンが絡み除去に有効と認められた (Fig. 5)。そこで、サルカン使用によるビリ巻き低減効果を調べるために、VLS ver. 5.3 を用いた 2015 年 11 月から 2016 年 2 月までの操業について、Fig. 6 と同様に枝縄番号ごとのビリ巻き発生回数をまとめた (Fig. 7)。その結果、この期間中に 48 回の枝縄絡みが発生した。1–13 番の累積した絡み数 18 回は全体の 37.5% にあたり、14–26 番の枝縄で 62.5% のビリ巻きが発生していた。サルカンを付けてもなお、鉛直方向に 2 鉢連結した幹縄を使用した場合では、深場に敷設された枝縄のビリ巻き発生率が高かった。これらの結果は、枝縄の敷設深度が大きいほどビリ巻き発生率が高かった (逆にいえば、枝縄が浅いほどビリ巻き発生率が低かった) ことを示している。

### 4.2 漁獲結果と CPUE

枝縄に浮子を取り付けた VLS (ver. 4.0) はビリ巻き発生率が 20% 以下であり、初めてアオザメ (*Isurus oxyrinchus*) を漁獲できた。これまでに

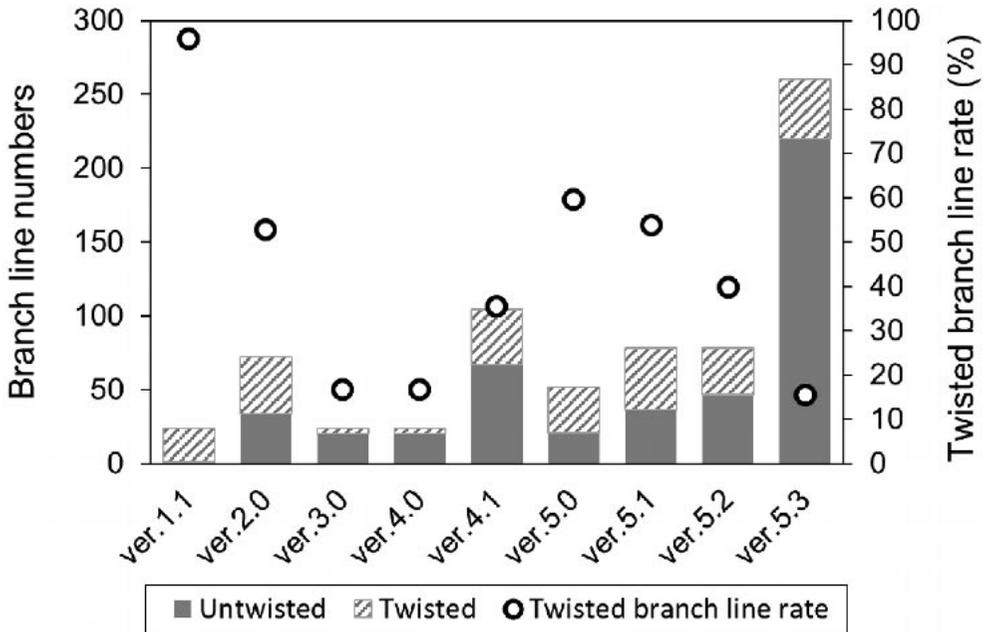


Fig. 5 Histogram of deployed branch lines and its rate from ver. 1.1 to ver. 5.3.

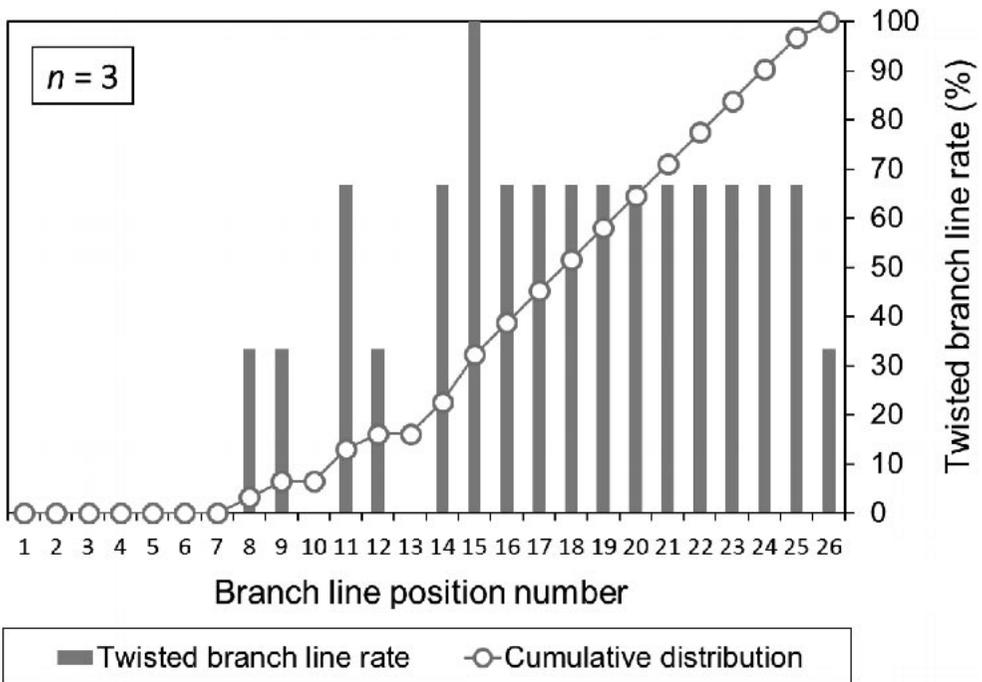


Fig. 6 Histogram of twisted branch lines from Sep. 2015 to Oct. 2015.

Fishing gear configuration was ver. 5.2 in Table 1. We deployed 3 main lines during the period ( $n = 3$ ).

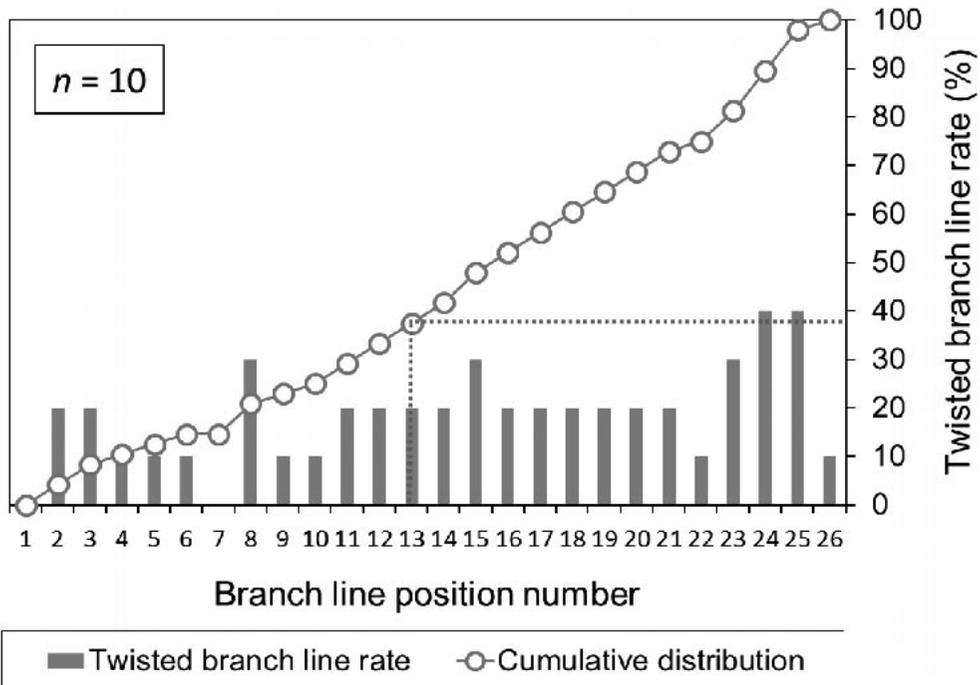


Fig. 7 Same as in Fig. 6, but for the period from Nov. 2015 to Feb. 2016. Fishing gear configuration was ver. 5.3 in Table 1. We deployed 10 main lines during the period ( $n = 10$ ). Cumulative distribution from No.1 to No.13 are 37.5% with dotted line.

アオザメ 2 尾, ヨシキリザメ 4 尾を漁獲した (Table 2)。ほかに, ミズウオ (*Alepisaurus ferrox*), バラムツ (*Ruvettus pretiosus*), およびシイラ (*Coryphaena hippurus*) が漁獲された。アオザメとヨシキリザメが 232.5 m 以浅で漁獲されたこと, また, 425.0 m 以深において 1-2 月の冬季にバラムツが漁獲されたことが特記される。

VLS と浮延縄漁具の漁獲性能を比較するために CPUE を算出した。解析には, 2014 年 12 月 (VLS ver. 3.0) から 2016 年 2 月 (VLS ver. 5.3) に実施した 16 回分の操業結果を用いた。また, 同時期に青鷹丸で行った浮延縄操業についても, 2014 年 12 月-2016 年 2 月の期間に実施した 14 回分の結果を解析し, CPUE を求めた。

各操業に用いた総釣針数は, VLS が 620 本, 浮延縄が 3,360 本であり, さめ類の漁獲尾数は, VLS が 6 尾, 浮延縄が 68 尾であった。1,000 針あたりの漁獲量 (さめ類の漁獲尾数) の指標である

CPUE を算出した結果, VLS の CPUE は 9.7, 浮延縄の CPUE は 20.2 であった。VLS と浮延縄漁具は敷設深度が異なるため, 同じ深度帯に敷設された釣針による漁獲結果にのみ着目して CPUE を補正した。浮延縄については, 吉原の式 (2) で短縮率  $k = 0.5$  とした場合に, 深縄の釣針の敷設深度は 211 m にもなるため, 算出された CPUE をそのまま用いる。鉛直方向に幹縄 2 鉢を連結した VLS については, 上部の 1 鉢だけ (浮縄 5 m + 17.5-227.5 m) が浮延縄漁具の敷設深度に相当すると仮定して CPUE を再計算した。その結果, 針数 334 本と, さめ類の漁獲尾数 6 尾から, CPUE は 18.0 と算出された。

## 5. 考察

縦延縄操業におけるどり巻き発生率は, ①投縄・揚縄作業の人為的不確定性, ②漁具構造の優劣, および③それら以外の外的要因 (風や流れ,

Table 2. Catch sheet of sharks and other fish from Sep. 2014 to Feb. 2016.

Fishing gear version	Date	Number of branch line	Depth (m)*1	Name of species ( <i>Latin name</i> )*2
1.1	2014/09/08	7	285.0	Longnose lancetfish ( <i>Alepisaurus ferox</i> )
4.0	2015/01/16	4	92.5	Shortfin mako shark ( <i>Isurus oxyrinchus</i> )
4.1	2015/02/04	23	425.0	Oilfish ( <i>Ruvettus pretiosus</i> )
4.1	2015/05/30	13	232.5	Blue shark ( <i>Prionace glauca</i> )
5.1	2015/07/06	3	57.5	Common dolphinfish ( <i>Coryphaena hippurus</i> )
5.2	2015/10/05	1	22.5	Blue shark
5.3	2015/11/30	9	162.5	Blue shark
5.3	2016/01/14	3	57.5	Shortfin mako shark
5.3	2016/01/14	26	477.5	Oilfish
5.3	2016/02/04	26	477.5	Oilfish
5.3	2016/02/04	14	267.5	Longnose lancetfish
5.3	2016/02/04	11	197.5	Blue shark

\*1 Depth represents the position of sprawl wire (tenbin), varying  $\pm 5$  m depending on the posture of branch lines (of 5 m long).

\*2 Sharks are shown with bold characters.

漁獲の有無など)によって変化すると考えられる。

これらのうち①と②については、操業経験を積み漁具の改良を重ねることで改善できた (①: 練習船である青鷹丸では、乗組員や学生が毎年入れ替わり、特に4, 5, 6月は、未熟者が多い中で操業せざるを得ず、枝縄投入の時点で絡み発生が頻発した; ②: 枝縄に浮子を取り付ける仕様のVLS ver. 5.0に改良した2015年6月以降では、新仕様に習熟するまで投入時の絡みが多発した)。

2014年12月(VLS ver. 3.0)と2015年1月(VLS ver. 4.0)の操業では枝縄の絡みが少なかったことから、鉛直方向に1鉢だけで行う操業形態は絡みの抑制に有効であったと考えられる。枝縄の敷設深度が深いほどピリ巻き発生率が高いのは、幹縄の巻き上げ距離が長くなるほど、(1)水の抵抗による枝縄の回転や、(2)幹縄の撚りによる回転、が多くなるためであろう。

(1)は釣針への餌付け方法に依存する。さば1尾を背懸けで針に付けた場合、幹縄巻き上げ時の抵抗が大きく、さらに、餌さばが水の抵抗を受け一方に回転して枝縄を撚ってしまう。目掛けにすれば、巻き上げ時の幹縄にかかる負荷は小さいが、餌さばの口が開いている場合には鰓から水が抜け、背懸け同様に回転した。また、目掛けの餌では、噛み跡がみられるが針掛りしていない場合が

あった。これらのことを総合して漁獲効率の面で考えると、餌にさば1尾を用いる場合には背懸けが有効である。

(2)は、幹縄に3本撚りのロープを用いたために顕在化していたと考えられる。幹縄には、巻き上げ時の強い張力で撚りが戻され回転しようとする力(トルク)が発生する。この回転の影響は幹縄が長いほど強くなるので、深場に敷設する枝縄ではピリ巻き発生率が高くなる。したがって、幹縄2鉢(合計490m、枝縄26本付け)を鉛直方向に繋ぐよりも、幹縄1鉢(245m、枝縄13本付け)で行う方が絡みを抑制できる。

漁具が海中から空中に上がった際のピリ巻きは、枝縄や天秤の回転が、水中では水の抵抗で抑制されているが空中では解放されて一気に発生するため起こるのだろう。また、空中では枝縄や天秤が重力で垂れ下がったり、風で踊ったりすることも影響していると考えられる。

幹縄の回転を軽減するにはサルカンが有効であった。サルカンを幹縄に取り付けた場合(VLS ver. 5.3)、ピリ巻き率を15.4%まで低減できた。摩擦が小さく滑らかに回転するボールベアリング入りのサルカンの採用で、さらに低減できると見込まれる。

2015年2月(VLS ver. 4.1)以降の鉛直方向に

幹繩を2鉢繋ぐ形態の試験操業においては、浅い枝繩だけにさめ類が漁獲された。この結果は、枝繩を浅く敷設した場合、絡みを抑制しつつ、釣針を調査対象のさめ類の生息深度に保持できていたことを示唆している。つまり、本海域では、鉛直方向に1鉢だけのVLSを採用することで、アオザメやヨシキリザメの生息深度に適切に釣針を敷設できる。したがって、VLSの運用形態を2鉢×4組から1鉢×8組に変更すると、より効果的な試験操業が可能と考えられる。ただし、例えば深海性のさめ類を対象とする調査では鉛直方向に幹繩を繋げる操業でなければ漁獲できないことから、当然、調査目的によって敷設深度を調節すべきである。VLSは、このような調節に容易に対応出来るという長所を有する。

ビリ巻きの抑制には、漁具だけでなく漁労装置各部の改良や操業方法の改変も有効である。幹繩は、舷側の三方サイドローラーを経由してラインローラーで甲板上に巻き込まれる。このサイドローラーには、VLSの揚繩時にロープの摩擦を和らげる働きがあるが、一方でサイドローラーを手で押さえて回転を止めたところ、水面上に上がった幹繩や枝繩の回転を抑制でき、ビリ巻き発生率が低減した。これは、幹繩に働くトルクをローラーの位置で分担できたためと考えられる。また、漁獲を感じた際にラインローラーによる幹繩巻上げを遅くすると、ビリ巻きが緩和された。ラインローラーのブレーキを常に効かせて巻上げ速度を遅くした結果、ビリ巻き発生率が低減されただけでなく、絡んだ場合にも枝繩の取り外しが容易となり、結果的に操業時間を短縮できた。青鷹丸のラインローラーの巻上げ速度109 m/minは、元来は浮延繩操業の仕様である。浮延繩操業で使用されるラインローラーは、航走しながら長大な漁具を効率よく回収するために、高速で巻上げる必要があった。これに対してVLSの操業は、浮延繩とは異なり船を止めて幹繩を巻上げる。延繩漁具を深場から低速で巻上げる操業に近い。例えば、底延繩操業に使われるラインローラーの巻上げは、低速39-55 m/minである(新日海工業、NKLH-4C-300)。縦延繩操業で使ったライン

ローラーは底延繩操業で使われるものの約2-3倍の速さで巻上げており、幹繩にかかる張力や枝繩にかかる抵抗が大きく、幹繩にかかるトルクが強かったためにビリ巻きが起りやすかったと考えられる。上記のように、サイドローラーなど漁労装置各部の改良や、ラインローラーの巻上げ速度の調節などが、ビリ巻き発生数の低減に奏功する可能性がある。

VLSの敷設形状が流れにどのように影響されるかを把握するには、ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler)によって各層の流れを計測しながら、漁具に取り付けた深度計によって敷設形状を測定し、さらに浮子に取り付けたGPSロガーによって位置情報を記録し、得られたデータを解析することが有効と考えられる。これを念頭に置いた調査を、今後進めて行く。

VLSは、投縄・揚繩作業負担の軽減を目標として開発してきた。我々の試験操業は毎月1回しか実施できず、毎日操業する漁業者とは異なり、人為的不確定性への対策としての漁具改良も必要であった。ビリ巻き軽減を目的として製作した天秤は、ラインローラーで巻き込めるために、巻上げ作業の負担にならない。また、この天秤の採用により、投縄時に枝繩取り付け位置の明瞭な目印となるのでスナップをかける位置が一目でわかり、投縄作業が容易になった。さらに、天秤に枝繩番号を記入することで、投縄作業中に順番が確認でき、漁具に観測機器を取り付ける際の目印としても有効であった。また、揚繩時にも、番号が書いてあることで調査の確実性が向上した。さらに、この番号をブリッジから読み取ることにより、より適切な操船が可能となった。

VLSは、使用する釣針が大きく、餌にさば1尾を使用するなど餌も大きいことから、口の大きな魚種を選択的に漁獲していたと考えられる。また、枝繩にテグスではなくカナヤマを使用し、さらに釣元に浮子を取り付けるため、さめ類に警戒されて漁獲効率が低いという問題も予想されたが、試験操業の結果では、VLSの漁獲性能が浮延繩操業と比べて明らかに劣ることはなかった。

以上のように、試験操業を重ねながらVLSを

改良し、漁具の絡みを低減させ、縦延縄操業の作業効率の向上に成功した。鉛直方向に多数の釣針の敷設が可能なVLSによって得られた相模湾におけるさめ類のCPUEは、浮延縄で得られたCPUEと同程度の値であった。VLSは、青鷹丸以外の漁船においても、乾舷高に応じて枝縄長を調整すれば使用できる。他魚種用の縦延縄漁具を製作する際にも、本研究で得られたVLSのピリ巻き対策の知見は有用である。

本研究で漁獲性能の把握のために計算したVLS試験操業のCPUEは、浮延縄操業と比べても決して低いものではなかった。ただし、VLSを含む縦延縄のCPUEを浮延縄のものと単純に比較することはできない。浮延縄のCPUEで吉原の式(2)で短縮率 $k=0.5$ と仮定したものについては縦延縄のものとの比較が可能であるが、縦延縄のCPUEの算出では総釣針数から絡みのあった針数を除去する必要がある。より詳細にCPUEを比較するためには、操業を継続して行い、ピリ巻きが低減されたVLS ver. 5.3による漁獲データを蓄積することが必要である。

## 謝 辞

東京海洋大学研究練習船青鷹丸乗組員の皆様には、漁具の製作から操業まで、多大なご協力をいただいた。東京海洋大学船舶・海洋オペレーションセンターの皆様には、操業許可の取得や操業日誌の提出に際してご尽力いただいた。国際水産資源研究所の皆様と、東京海洋大学資源・海洋情報解析学研究室、海洋物理学研究室、生産システム学研究室、応用情報システム工学研究室の皆様には、試験操業の実施にご協力いただいた。ここに深謝する。

## 引用文献

- 金田禎之 (1995) : 日本の漁業と漁法. 成山堂書店, 東京, 126-137.  
 清田雅史, 横田耕介 (2010) : マグロ延縄漁業における混獲回避技術. 日本水産学会誌, 76, 348-361.  
 MIZUNO, K., M. OKAZAKI, N. MIYABE (1998) : Fluctuation of longline shortening rate and its effect on

underwater longline shape. *Bull. Nat. Res. Inst. Far. Seas Fish.*, 35, 155-164.

- 水野恵介, 岡崎 誠, 中野秀樹, 岡村 寛 (1997) : 小型BTを利用したまぐろ延縄の水中姿勢の推定. 遠洋水産研究所報告, 34, 1-24.  
 中野秀樹 (1994) : 北太平洋に分布するヨシキリザメの年齢と繁殖および回遊に関する生態学的研究. 遠洋水産研究所研究報告, 31, 141-256.  
 根本雅生, 塩出大輔, 内田圭一, 戸高耀介, 上嶋紘生, 萩田隆一, 宮崎唯史 (2014) : 相模湾における外洋性サメ類に関する研究 I 延縄試験操業. 2014年度水産海洋学会研究発表大会講演要旨集, 73.  
 齋藤昭二 (1992) : マグロの遊泳層と延縄漁法. 成山堂書店, 東京, 64-166.  
 SHIODE, D., F. HU, M. SHIGA, K. YOKOTA, T. TOKAI (2005) : Midwater float system for standardizing hook depths on tuna longlines to reduce sea turtle by-catch. *Fish. Sci.*, 71, 1182-1184.  
 戸高耀介, 根本雅生, 塩出大輔, 山本璃子, 中野知香, 吉田次郎 (2014) : 相模湾における外洋性サメ類に関する研究 II 外洋性サメ類の漁獲動向. 2014年度水産海洋学会研究発表大会講演要旨集, 74.  
 山口邦久 (2011) : 小笠原諸島海域のたて縄漁法によるメカジキの釣獲水深と水温. 東京都水産海洋研究所報告 (4), 29-60.  
 吉原友吉 (1951) : 鮪漁業の漁獲分布 II 垂直分布. 日本水産学会誌, 16, 370-374.

受付 : 2017年9月6日

受理 : 2017年12月11日



資 料

## 第 55 卷第 3・4 号掲載欧文論文の和文要旨

石橋矩久<sup>1)</sup> \*・佐藤博雄<sup>2)</sup>・神田穰太<sup>1)</sup> : セディメント・ミックスバイオフィルムを有する底部境界モデル培養系の確立と硫化物動態

海水と底質の境界のモデル培養系を作成し、微生物集合体のセディメント・ミックスバイオフィルムを再現して境界域の硫化物と微生物の動態を調べた。底質を栄養顆粒（魚類初期用飼料）と添加物（有孔虫石灰岩粉末）と共に海水を入れた容器で静置培養を行い、液体表面にバイオフィルムを分離形成した。このバイオフィルム破砕物を用いて有酸素の静水環境で培養を行い、容器底面にセディメント・ミックスバイオフィルムを形成した。一方、ナイロンメッシュを用いて水分を含む底質のモデル培養系を構成して、バイオフィルム破砕物と栄養顆粒と添加物と共に培養を行った。モデル底面表面にバイオフィルムが形成し、モデル底面下部の海水に硫化物が蓄積した。この硫化物はモデル底面のバイオフィルムを透過して、モデル底面直上にも蓄積した。この時、モデル底面の直上に白濁層が形成した。白濁層は浮遊微生物を含み、細胞内に硫黄粒子を有する硫黄細菌 *Arcobacter* sp. が主であった。本研究のモデル培養系は、天然のバイオフィルムを有する底部境界でみられる底面直上の硫化物動態とよく一致する特徴を有していた。

(1 東京海洋大学大学院海洋科学技術研究科 〒108-8477 東京都港区港南 4-5-7 連絡著者\* Tel : 080-1301-4588. E-mail: nori2601@yahoo.co.jp, 2 〒136-0071 東京都江東区亀戸 6-6-9-105)



## 第 17 回日仏海洋学シンポジウム, エクスカーションおよびフォーラムの報告

小池 康之

2017 年 11 月 7 日から 10 日にかけてボルドー大学において開催された第 17 回日仏海洋学シンポジウムに先だて、11 月 3 日から 5 日に「エクスカーション」が、またシンポジウムと同時に貝類とウナギ養殖に関する「フォーラム」が大学内 Salle des Actes において開催された。

エクスカーションとフォーラムは一般参加であった。50 名先着申し込みのエクスカーションについては、移動に使われた約 50 人乗りの大型バスは 15 名の日本人参加者を含めてほぼ満席で、定員に達していたようである。エクスカーションの目的地はフォーラムで準備されたテーマの内容に即してフランスの現状を事前に理解するため、かつてのウナギ稚魚の産地や貝類とくにカキの生産地としてフランス屈指の稚貝生産地と日本の里海と類似の飼育管理を行っている地域が選ばれた。

11 月 3 日には、ボルドーの西側に位置するフランス第一の種牡蠣生産地アルカッション湾を訪問した。まず、漁業組合の購買所を訪れ、カキ剥きナイフをはじめ漁業・養殖資材や作業着および地産の魚介類加工食品などを視察した。その後遊覧船によって湾内を巡り、カキ養殖棚や種ガキコレクターの設置状況を見学するとともに地域行政および自然保護団体代表者から湾周辺の自然環境と環境保護活動および農・水産・畜産業全体での自然保護や規制などの説明を受けた。昼食に用意された海産物専門のレストランでは、アルカッション産の殻付き生牡蠣が提供され、日本産との比較など食文化の評価に花が咲いた。午後は地域カキ養殖委員会の Olivier Labin (オリヴィエ・ラバン) 元委員長のカキ畜養場を見学し、清澄な天然海水を利用した畜養法等の説明を受けた。ボルドー帰着後、地域淡水漁業委員会から夕宴の招待を受け、特産のヤツメウナギの試食を行った。

11 月 4 日には、ボルドー北側に位置するフランス屈指のカキ生産地であるマレンヌ湿地帯を見学した。地域カキ養殖委員会の Gérald Viaud (ジェラルド・ヴィオー) 委員長から、旧塩田(現地ではクレールと呼ばれている)を利用した畜養法や大きな干満差を利用した畜養場水利管理の説明を受けた。昼食には、特産のクレール育ちの、塩田に繁殖した緑色の色素を持つ珪藻プランクトンを摂取した特産のミドリガキが供され、地域の白ワインとともに、フランス屈指のガストロノミーを堪能するとともに、仏日のカキに対する評価や養殖法の相違などについて意見交換した。午後は、カキ養殖資料館に立ち寄り、ナポレオン時代から始められた歴史あるカキ養殖法の変遷に関する展示を見学した。

11 月 5 日には、ボルドー市街を貫いて流れるジロンド川の遊覧船に乗り、河口域の視察中にフランス国立科学研究センター (CNRS) の研究者および淡水漁業組合代表者から、ボルドーと流域の自然、淡水漁業、地域の運搬貿易の歴史などの説明を受けた。帰路が長く、比較的時間に余裕があったことから、視察イベントの組織をした日仏海洋学会 Patrick Prouzet (パトリック・プルーゼット) 博士から、船上セミナーが提案された。講師として、フランスと日本で特筆すべき仕事をした参加者 3 名が指名され、各自の研究と成果について講演することになった。元パリ第 6 大学付属バニユルス シュール メール実験所長を務め、その後パリにある国立自然史博物館の館長を 2 期に渡って務めた Gilles Boeuf (ジル・ブッフ) 博士が、専門であるサケなど遡河性魚類の生態について講演した。次に、気仙沼のリアスアーク美術館学芸員山内宏泰氏が、東日本大震災の記録を将来に伝える展示の重要性について、最後に、筆者小

池が、ブレストにあった国立海洋開発センターで約40年前に行ったフランス産アワビの種苗生産と放流実績および現在のフランスにおけるアワビ養殖の現状について講演した。以上3日間を通じ、事前調査によりセミナーで準備されたテーマに対する予備知識収集において、非常に内容豊で実りのあるエクスカッションであった。

11月7日から9日の3日間に、シンポジウムと同時進行でフォーラムが行われた。セッションは、  
 Session 1: The effects of land subsidence and uplift on intertidal mollusks following the 2011 Great East Japan Earthquake.  
 Session 2: Marine pelagic mucilage on the French Basque coast area: causes, consequences and trends.  
 Session 3: Regional scheme for the development of marine aquaculture (SRDAM) and access to new farming sites on French Mediterranean coast.  
 Session 4: The Eel restocking in France: an emergency measure to save European Eel.  
 の4テーマであった。

日本側からは、東日本大震災後の沿岸環境変化と生物相の変化、カキ養殖業の復興と流通改革、津波被災地におけるアマモ場の再生、被災地におけるカキ養殖場管理とその効果、被災地とくに気仙沼沿岸における巨大防潮堤建設が及ぼす環境への影響と地域住民の生活特に漁業活動への負担、日生における里海活動の歴史・現状・活動の広がり、里海手法を用いた瀬戸内海・日本海などの環境管理のための研究、漁業者が主体的に取り組む日本型海洋保護区、日本におけるウナギ養殖および加工技術の現状について、また、フランス側からはバスク地域の沿岸管理、外洋および沿岸域に発生する生物由来による粘液物質の流動とカキ養殖への影響、海洋自然公園と総合管理手段、地中海における新養殖海域増設の可能性、ウナギ資源の現状と復活の可能性、地中海におけるクロマグロ漁業の現状と展望、アサリを対象とした沿岸漁業および潮干狩りの現状と対策について、日仏共同研究として、トー湖と広島湾双方の生産性向上に関する比較、フランスと日本における漁船形状の相違と漁業活動の比較について、これら合計25題の口頭発表があり、参加者による活発な質疑が行われた。



写真(左)：アルカッション湾に設置されたタネガキコレクター

写真(右)：マレンヌの特産品、クレール育ちのミドリガキ試食会

## 第 17 回日仏海洋学シンポジウムの報告

荒川 久幸

2017 年 11 月 7 日から 10 日にかけて、第 17 回日仏海洋学シンポジウムがボルドー大学のアゴラ講堂とそれに付設された回廊を会場にして開催された。本シンポジウムは、国際コロキウム Coast Bordeaux 2017 との共催として位置づけられ、テーマは、"Systemic and biodiversity evolution of marine coastal ecosystem under the pressure of climate change, natural and anthropogenic local factor" であった。小池会員の報告のように、シンポジウムに先立ってエクスカッションが、国際コロキウムにおいて「貝類とウナギ養殖に関する日仏フォーラム」が行われた。シンポジウムには、日本から 33 名、アルジェリア、スペイン、イタリア、イギリス、チュニジア、モロッコ、フランスを含め、およそ 260 名の参加があった。

冒頭の開会式では、ボルドー大学学長 Manuel Tunon de Lara, ヌーヴェルアキテーヌ州議長（環境委員会副議長 Nicolas Thierry 氏代読）、日仏海洋学会会長 Hubert Ceccaldi 氏、日仏海洋学会会長小松輝久氏、CNRS/INSU 部長 Pascale Roy-Delecluse, Ifremer 議長 François Jacq 氏、研究省を代表して Marie-Hélène Tusseau-Vuillemin 氏から挨拶があり、日仏英同時通訳つきであった。

セッションは、Session 1: Identification and analysis of environmental stressors, Session 2: Impacts on socio-ecosystems and biological resources, Session 3: Vulnerability of coastal ecosystems and risk assessment, Session 4: Integrated approaches and communities restoration process の 4 つに分かれ、11 月 7-9 日に口頭とポスター併せて 217 件の発表があった。口頭発表は、アゴラ講堂を会場にし、活発な質疑と意見交換が行われた。また、ポスタープレゼンテーションは、回廊で行われた。11 月 10 日には、フランスの研究機関や研究行政に係る重要人物たちと小松会長が参加した円卓会議が行なわれ、シンポジウムを総括した。司会は科学ジャーナリスト Anne-Sophie Novel 氏、討論者として、科学技術アカデミーの Jean-François Minster 氏、科学アカデミーの Hervé Le Treut 氏、日仏海洋学会の小松輝久氏、日仏海洋学会および IFREMER の Yves Hénocque 氏、CNRS/INSU 部長 Pascale Roy-Delecluse 氏、ヌーヴェルアキテーヌ州副議長兼ラロシェル大学学長・教授 Gérard Blanchard 氏が参加した。日仏英同時通訳を介して、フランスと日本両国の海洋研究の永い歴史や今後の研究の方向について議論された。円卓会議の最後に、永年にわたって日仏海洋学会の会長職を務めた Hubert Ceccaldi 教授が退任され、元 IFREMER 研究部長で現在は研究庁（Agence nationale de Recherches）専門家である Patrick Prouzet 氏が就任したこと、また副会長として Yves Henocque 氏と Catherine Mariojouis 氏が就任したことが報告された。このシンポジウムのプロシーディングスは、2018 年に公表される予定である。また、2 年後には日本で、第 18 回日仏海洋学シンポジウムを開催することになっている。



写真 2017年11月10日の最終日に開かれたボルドー大学アゴラ講堂での円卓会議。左から、司会の Anne-Sophie Novel 氏、討論者の Pascale Roy-Delecluse 氏、Gérard Blanchard 氏、小松輝久氏、Yves Hénocque 氏、Hervé Le Treut 氏、Jean-François Minster 氏。

Field Guide to Marine Plankton  
美しい海の浮遊生物図鑑

若林香織・田中祐志・阿部秀樹

文一総合出版 2017年12月25日発刊

179 pp., 2,400 円

本書を手にとった瞬間にカバーに掲載されたプランクトンの色彩および形状に驚かされる。図鑑等では知っている生物も含まれてはいるが、その生物の生きている時の美しい色彩までは知らないことが多い。その驚きから、私は本書を一気に読み切ってしまった。読み切って再度、本書は、プランクトンの生きている時の色彩を知ることが出来る数少ない書籍であると感じた。そして著者が冒頭や帯で述べているようにプランクトンの生きている時の美しさおよび造形に興味も持ってもらいたいという意図が随所に感じられる。著者の一人である阿部氏(潜水写真のプロ中のプロといえる第一人者)が、銀塩写真の時代からデジタル写真全盛の現代まで数十年に亘って撮りためておられた「秘蔵」とも思える写真が惜しげも無く披露されている。

本書は、大きく2部構成になっている。前半部分はプランクトンについての解説、海洋学的情報、観察方法、用語集、取り上げた生物一覧で構成される。後半部分は、分類群ごとの説明である。前半部は、図や写真を多く用いて非常にわかりやすい説明となっている。前半部分で掲載された生物写真は、56種に及ぶ。後半部は、クラゲ(25種, 35写真)、クシクラゲ(8種, 14写真)、浮遊性巻貝(26種, 46写真)、巻貝の幼生(6種, 10写真)、イカとタコ(25種, 45写真)、ゴカイとホシムシ(9種, 21写真)、エビ(11種, 34写真)、イセエビとセミエビ(9種, 33写真)、ヤドカリとコシオリエビ(5種, 25写真)、カニ(13種, 45写真)、シャコ(4種, 8写真)、クラゲノミ(12種, 31写真)、その他の無脊椎動物(28種, 70写真)、仔魚と稚魚(78種, 130写真)、放散虫(11種, 28写真)、有孔虫(3種, 4写真)、藍藻(2種, 4写真)、と大型の動物プランクトンから植物プランクトンまでをカバーし、総数639もの写真を掲載している(一部オーバーラップを含む)。上記のように生物1種に1枚の写真

ではなく、異なるアングル、成長段階、異なる生活様式の写真等も掲載されている種もあり、生物の理解および興味を深められる。

また、著者のこだわりが様々な個所で感じられる。例えば、カバーに22種の生物の写真を掲載しているばかりでなく、表表紙および裏表紙にも1種ずつ掲載している。見返しには、放散虫類がコントラストを付けた隠し絵のデザインとなっている。

本書で気になった点をわずかながら挙げさせていただく。1. 「本書に登場する浮遊生物一覧」のところにスケールがあるとよりイメージしやすい。2. 索引として分類学的な整理が別途あると、他の図鑑との横断検索がより簡単になるだろう。上記の点については、改訂版出版の際に検討していただきたい。

本書の著者は、プランクトンの生態(現場状態)についての研究を進めている方々であり、それゆえ美しいプランクトンの写真だけに留まらず、これまでに著者らが研究・開発した観察方法、生物の生態学的情報、今後の研究課題に結び付くような情報も本文およびコラムに掲載し、入門者から研究者までを飽きさせない構成となっている。書店やウェブで本書を手にする(ブラウズする)人は、「生き物が好きな子供とその家族」、ダイビング愛好者、さらに、プランクトンを含む海洋生物研究の入門者から、様々な分野の水産に携わる人々であろうと思われる。本書は、このように幅広い人々にとってそれぞれの要求に応じて役立つ資料となる必携の一冊としてお勧めしたい。また、本書のサイズは携帯にはもってこいのサイズであり、活躍の場はフィールドへも広がる。

最後に手前味噌ながら私も植物プランクトンの図鑑(Marine Phytoplankton of the Western Pacific, 恒星社厚生閣)を出版しており、出来るだけ生きている状態を掲載することをコンセプトとしている。動物プランクトンと植物プランクトンの生きている状態を把握することが出来る本書と私の図鑑があれば、これからプランクトンの世界および研究の扉を開く学生にとって「鬼に金棒」となることは間違いないだろう。

(大村卓朗 水圏科学コンサルタント/  
東京海洋大学)

## 学 会 記 事

### 1. 幹事会議事録

日 時：2017年10月18日（水）10時30分～12時00分

場 所：東京海洋大学 9号館 203号室

参加者：小松、今脇、森永、小池（康）、田中、荒川、北出、奥村（Skype）、内田、本多（事務局）

#### (1) 報告事項

- ① 第1回水産・海洋科学連絡協議会（5/30、海洋大）に鈴木秀和会員が出席した。
- ② 第1回日仏関連諸学会連絡協議会（6/6、日仏会館）に小松会長、荒川庶務幹事、本多事務員が出席した。2017年9月から貸室価格が25%の増額（一般価格の半額）となった。501室貸室料金（午前および午後）一般価格57,240円に対し、今までは75%引きだったが、今後は50%引きとなる。来年度以降の学術研究発表会等の収支の悪化が予想されることが説明された。
- ③ 2017年度総会、評議員会および学術研究発表会（6/10、日仏会館）を開催した。
- ④ 2017年度の学会賞選考委員会（メール会議）で委員長に神田穰太会員が選出された。
- ⑤ 学会誌 La mer 第55巻 1-2号および3-4号の編集状況が報告された。
- ⑥ 日本学術会議主催公開シンポジウム『沿岸地域を再生させるための水産業を考える』（11/6、日本学術会議講堂）の実行委員を河野副会長に依頼し、開催案内を会員にメール配信した。
- ⑦ その他

萩博物館（堀成夫主任研究員）より、親子向け展示会「驚異の遭遇！未確認生物」におけるニューネッシーの画像使用および学会誌提供のお礼として、萩博物館招待券10枚が寄贈された。

#### (2) 審議事項

- ① 国立国会図書館デジタルコレクションで公開されている La mer の学会記事に掲載さ

れている個人住所を非公開にする作業を内田広報幹事と事務局で進めることにした。

- ② 賞規定第4項に、委員会は選考結果を会長に『12月末までに』報告するとあるのを、『2月までに』とする改正を来年度の評議員会の議を経て行うことにした。理由は、(1) 論文賞の対象が選考年度の12月までに発表された論文であることと、(2) 表彰式を行う総会を例年6月に開催している実情に合わせるためである。
- ③ 第16回日仏海洋学シンポジウムのプロシーディングスは小松会長と吉田編集委員長で引き続き編集作業を行うことにした。
- ④ ボルドーで開催される第17回日仏海洋学シンポジウムにフランス側から招待されている日本人参加者の旅行情報について確認を行った。

#### (3) その他

学会費請求書を5月初旬に発送する総会案内に同封することにした。

### 2. 新入会員

氏名	所属	紹介者
林崎 健一	北里大学 海洋生命科学部	小松 輝久
NOIRAKSAR Thidarat	Institute of Marine Science, Burapha University	小松 輝久
青木 望美	横浜国立大学 統合的海洋教育・研究センター	小松 輝久

### 3. 所属および住所変更

氏名	新所属先
佐々 修司	横浜商科大学 地域産業研究所

### 4. 寄贈図書

広島日仏協会報 BULLETIN No.203

FRANEWS (水産総合研究センター) ; No.51-52  
なつしま (JAMSTEC) ; 通巻 364 号-365 号  
農村工学通信 ; No.108-109  
Ocean Newsletter (海洋政策研究財団) ; No.408-417  
Techno-ocean News (テクノオーシャンネットワーク) ; No.64-65  
笹川日仏財団 活動報告 2013-2015  
National Science Museum Monographs No.46 (国立科学博物館)  
人と海洋の共生をめざして 150 人のオピニオン  
Ⅷ (海洋政策研究所)  
農村工学研究部門成果情報 平成 28 年度  
東京大学大気海洋研究所 メール通信 ; 第 10 号  
Ocean Breeze (東京大学大気海洋研究所) ; 第 26 号  
国立科学博物館研究報告 A 類 (動物学) ; 第 43 巻  
第 3 号  
水産研究・教育機構 研究報告 ; No.45

## 賛 助 会 員

株式会社 イーエムエス	兵庫県神戸市中央区東川崎町1-3-3 神戸ハーバーランドセンタービル13F
いであ株式会社	東京都世田谷区駒沢3-15-1
公益財団法人海洋生物環境研究所	東京都新宿区山吹町347 藤和江戸川橋ビル7階
ケー・エンジニアリング株式会社	東京都台東区浅草橋5-14-10
株式会社 ジーオー・ファーム	沖縄県島尻郡久米島町宇根ナカシ浜127-7
JFEアドバンテック株式会社	兵庫県西宮市高畑町3-48
株式会社 新協	東京都文京区大塚4-40-1
株式会社 セア・プラス	神奈川県横浜市緑区十日市場町832-8
株式会社 独立総合研究所	東京都江東区

(※詳細はセキュリティのため非公開)

# 日仏海洋学会入会申込書

(正・学生会員)

申込日 年 月 日  
年度より入会

私は日仏海洋学会会則に同意し、下記の通り入会を申し込みます。

フリガナ			
氏名			
ローマ字			
生年月日	年 月 日	会誌送り先 (自宅 / 勤務先)	
メールアドレス			
勤務先			
勤務先住所	〒		
自宅住所	〒		
TEL		FAX	
紹介会員名			

■会員種別および会費 (不課税)

正会員：8,000円

特別会員<sup>(\*)</sup>：6,000円

学生会員：4,000円

賛助会員：1口 10,000円以上

※年度初めに満65歳以上で学会事務局へ申告した者

■事業年度 4月1日～翌年3月末日

■備考

入会申込書送付先：〒150-0013 東京都渋谷区恵比寿3-9-25

(財)日仏会館内

日 仏 海 洋 学 会

郵便振替番号：00150-7-96503

# 日仏海洋学会入会申込書

(賛助会員)

申込日 年 月 日  
年度より入会

日仏海洋学会会則に同意し、下記の通り入会を申し込みます。

フリガナ			
会社・機関名			
住所	〒		
TEL		ご担当者名	
FAX		所属	
口座数 (1口1万円より)	口座	メールアドレス	
紹介会員名		TEL	

■事業年度 4月1日～3月末日

■備考

入会申込書送付先：〒150-0013 東京都渋谷区恵比寿 3-9-25

(財) 日仏会館内

日 仏 海 洋 学 会

郵便振替番号：00150-7-96503