

原著論文

アザラシ被害対策として定置網の金庫網入口に 設置した格子網に対するサケの行動

櫻木雄太*1・小林基樹*2・高原英生*3・三谷曜子*2

Behavior of salmon toward seal-exclusion mesh

Yuta SAKURAGI, Motoki KOBAYASHI, Hideo TAKAHARA and Yoko MITANI

To reduce damage to fisheries caused by seals, the entrance to the holding chamber of salmon set-nets is fitted with mesh. However, the effects of the mesh on the salmon's behavior have not been examined. Here, we tested the response of salmon to meshes of different colors (white and brown) and sizes (25, 20, 18, and 16 cm) in a large experimental tank. Salmon approached brown mesh more frequently than white mesh of the same size, and avoided 16-cm mesh. Thus, brown mesh of ≥ 18 cm will maximize the entry of salmon into the holding chamber. However, we need to determine the optimum shape and maximum size of the mesh, because larger mesh will allow seals to enter more easily.

キーワード：ゼニガタアザラシ, サケ定置網, 漁業被害防除, 格子網

2018年11月8日受付 2019年9月20日受理

ゼニガタアザラシ *Phoca vitulina stejnegeri* は北海道周辺に生息する定住性の高いアザラシであり (新妻 1986), 1940年代には, 北海道沿岸に1,500頭から4,800頭ほどが生息していたと考えられている。しかし, 乱獲や生息環境の悪化に伴い, 1970年代には400頭未満まで個体数が減少したため (伊藤・宿野部 1986), 1991年に環境省レッドデータブックの絶滅危惧種IB類となった。その後, 個体数は回復・増加傾向を示し, 2012年には絶滅危惧II類, 2015年には準絶滅危惧種へと段階的に評価のカテゴリーが変更された。

襟裳岬周辺の岩礁域にはゼニガタアザラシが多数生息しており, 北海道における最大の繁殖場となっている (新妻 1986)。1974年から2009年にかけて, 襟裳岬におけるゼニガタアザラシの上陸個体数は57頭から459頭と増加傾向にあることが示されており, 他の地域と比較しても個体数の増加は顕著である (Kobayashi *et al.* 2014)。本地域沿岸では, サケ定置網漁業が盛んにおこなわれてお

り, 地域の生活基盤を支える重要な産業となっているが, アザラシの増加に伴い, サケ定置網の金庫網に本種が侵入し, 漁獲物の頭部や腹部などの一部を食いちぎる食害 (トツカリ食い) 等の漁業被害が深刻化してきている。

環境省はえりも地域におけるゼニガタアザラシと漁業の共存を目的とし, 本種の存続可能性の評価および漁業被害の軽減に取り組んでいる (環境省 2016)。被害軽減への取り組みとして, 本種が物理的に定置網の金庫網に侵入することを防ぐために, 金庫網入口に網目が角目の網 (以下, 格子網) を取り付ける試みが行われており, 成果を挙げている (北海道地方環境事務所 2018)。これまでに, アザラシの侵入を防ぐ効果や来遊頻度の低下が確認されたが, 格子網がサケ *Oncorhynchus keta* の入網に影響を与えていることが懸念されている (Fujimori *et al.* 2018, 北海道地方環境事務所 2018)。

先行研究において, 漁網の網目や色が魚の行動に影響を与えることが明らかとなっている。例えば, 魚が物理

*1 北海道大学大学院環境科学院

〒040-0051 北海道函館市弁天町 20-5

Graduate School of Environmental Science, Hokkaido University, 20-5, Benten-cho, Hakodate, Hokkaido 040-0051, Japan
yuta1015sakuragi@gmail.com

*2 北海道大学北方生物圏フィールド科学センター

*3 函館国際水産・海洋都市推進機構

的に通過できる網目でも、網目の形によっては通過しないことがある (Fujimori *et al.* 2000)。また、網目の色によっても魚の行動は異なり、水中で目立たない色の網ほど通過する尾数が多いことが示されている (神田ら 1958, 小池ら 1958)。そのため、アザラシを防除するために設置した格子網の網目の大きさや色がサケの入網に影響を与えていることが予想される。

格子網の網目の大きさや色がサケの行動に及ぼす影響を評価するためには、サケを活魚運搬できる立地と、格子網とサケの通過を同時に観察できる環境が必要となる。サケを運搬するためには温度を 10.6~11.6°C に保ち、高い酸素濃度を維持する必要があるため、長距離の輸送は難しい (橋本 1982)。また、定置網に入網するサケは成熟途上の個体であり、実験にも同程度に成熟したサケを用いる必要がある。北海道函館市にある函館市国際水産・海洋総合研究センターには水槽側面からの観察が可能な大型実験水槽 (幅: 約 10m, 奥行き: 5m, 高さ: 6m, 容量: 約 300t) がある。また、施設のある道南地域の沿岸域にはサケが漁獲される定置網が存在しており、サケを活魚運搬できることから、本実験の条件を満たしている。そこで本研究では、函館市国際水産・海洋総合研究センターの大型実験水槽を用いて、網目の大きさや色の異なる格子網に対して、サケの通過行動がどのように変化するのか明らかにすることを目的とした。

材料と方法

実験には、北海道函館市の南かやべ漁業協同組合木直支所古部出張所の定置網で漁獲されたサケを用いた。サケの運搬の際には、海水を入れて凍らせたペットボトルを活魚タンクに入れて、水温を 9~13°C に保った。また、酸素ポンペを用いて分散器によるバブリングを行い、高

い溶存酸素濃度を維持した状態で運搬した。実験終了後に使用したサケ (29尾, 雄: 16尾, 雌: 13尾) の外部形態を計測したところ、平均標準体長は 59.5 ± 4.8 cm (48.4~69.0cm), 平均体高は 13.9 ± 1.50 cm (11.1~16.7cm) であった。

実験は 2017 年 10 月に、函館市国際水産・海洋総合研究センターにある大型実験水槽で行った。大型実験水槽の壁面色は青色であった。サケの行動を観察するために、水槽の側面にある観察窓の高さに合わせて高さ 3m (容量: 150t) まで海水を入れた (図 1)。実験水槽の中央に、網目が黒色でサケが通過できないように網目一辺の長さが 13cm の網 (仕切り網) を設置した。この仕切り網の一部を 2m 四方に切り取り、その箇所に格子網をはめ込むための枠を設けた (図 1)。実験で用いた格子網は、枠の大きさに合わせて縦横約 2m の大きさと作製した。

格子網の素材には、ダイニーマ (東洋紡績株式会社製) もしくはベクトラン (株式会社クラレ製) が用いられており (北海道地方環境事務所 2018), 本実験でも同様のものを用いた。ダイニーマは超高分子量ポリエチレンで紡糸した白色の素材であり、一般に使用される漁網よりも高い強度を有している (熊沢 2016)。また、ダイニーマを染色する方法は存在する (加藤ら 2006) もの、難易度が高く、表面装飾が困難なため白色のまま使用されている。ベクトランはポリアリレート系の繊維で紡糸した金茶色の素材であり、ダイニーマよりは少し劣るが、強度と耐摩耗性が高い (頼光 2010, 井出 2011)。磯野ら (2013) は、ダイニーマとベクトランを強化刺網として用い、トド *Eumetopias jubatus* に対して高い被害防除効果を示していることから、ゼニガタアザラシによる格子網を引きちぎる等の破壊行為に対する耐久性は十分にあると考えられる。

格子網の通過に対する網目の大きさの効果を見るため

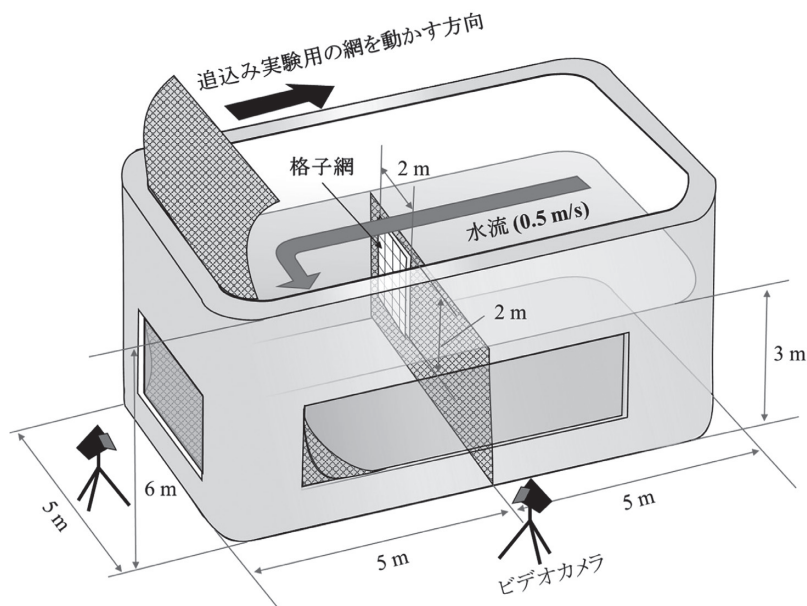


図 1. サケの行動観察実験の概略図

に網地が白色の格子網4種類（網目一辺：16, 18, 20, 25 cm, 素材：ダイニーマ, 直径：2.3mm）と、色の効果を調べるために網地が金茶色の格子網（網目一辺：20cm, 素材：ベクトラン, 直径：2.3mm）を用意した。

サケの行動観察は、全ての格子網について、明・暗いづれかの条件で行い、格子网上部で明条件は129lx, 暗条件は1.36lxとなるように設定した。明条件は9～15時, 暗条件は18～24時とし、馴致時間は1時間、観察時間は5時間とした。格子網に対するサケの行動を観察するために、格子網の側面と正面となる水槽の亚克力面にビデオカメラを設置し、撮影した（図1）。格子網側面から撮影した動画において、左側から格子網に接近するサケの吻端が格子網のある場所に接触した回数を接近回数とし、その内、格子網を通過した回数の割合を網通過率とした。

サケの行動に対する格子網の存在の影響を明らかにするため、強制的にサケを格子網に接近させる追込み実験も行った。追込み実験は明条件の観察終了後に、水槽の端から格子網に向かって追込み用の網を動かしてサケを追い込んだ。追込み用の網については、網目をサケが十分通過できない大きさとし、幅および高さも十分に水槽の奥行を覆えるサイズのものを使用した（図1）。格子網までサケを追い込んだ後、追い込んだすべてのサケが格子網を通過するまで観察を続け、その間にサケが格子網に対する進行方向を90°以上変えたとき（忌避行動）の回数を個体ごとに数えた。

実験日によって水槽内のサケの尾数が異なったため、網接近回数とサケ尾数との関係を検討したところ、水槽内の全尾数が15尾以下のときは、格子網への接近はほとんど見られなかった（表1）。そのため、以下の解析には、格子網への接近が顕著にみられた22尾以上の試行（2017年10月14日～18日実施）のデータを用いることとした（表1）。

格子網の網目の大きさとサケの網通過率の関係を調べるために、明暗それぞれの条件下で、網目の大きさ（網目一辺16cm, 18cm, 20cmのうち2サイズの白色網の組み合わせ）とサケの行動回数（接近回数および通過回数）を2変数としたFisherの正確確率検定を実施した後、Holm法により有意確率（ p ）を補正した。また、網地の色とサケの網通過率の関係を調べるために、明暗それぞれの条件下で、網地色（白色および金茶色の網目一辺20cmの網）とサケの行動回数（接近回数および通過回数）を2変数としたFisherの正確確率検定を実施した。なお、すべての統計解析にはR software version 3.4.1（R core team, 2017）を用い、有意水準を5%とした。

結 果

格子網の網目一辺の長さとサケの網通過率の関係を調べたところ、明条件および暗条件ともに、すべての網目

の組み合わせについて、網目一辺の長さの違いはサケの網通過率に有意な影響を与えなかった（ $p > 0.05$ ）。次に、網地色とサケの網通過率の関係を調べたところ、明条件および暗条件ともに、網地色の違いはサケの網通過率に有意な影響を与えなかった（明条件： $p = 0.47$, 暗条件： $p = 0.41$ ）。一方、接近回数については、明条件および暗条件ともに、金茶色の網が白色の網に比べ多かった（図2）。

追込み実験では、最終的にどの格子網でもサケの通過は観察されたものの、特に網目一辺16cmでは、格子網の反対方向へと体の向きを変える忌避行動が多く観察された（図3）。この忌避行動は、網目一辺18cm以上では網目一辺16cmに比べ少なかった。網目一辺16cmの格子網について、追込み実験をした際に途中で追込み用の網から逃れた個体が多くいたため、通過したサケの尾数は1尾となった。実験中に追込み用の網から逃れた個体は、格子網に対して繰り返し忌避行動を行っていたことが観察された。また、通過した1個体についても、通過するまでに5回の忌避行動が観察された（図3）。

考 察

観察実験より、網目一辺が16cm～20cmの格子網では、明条件および暗条件ともに網目の大きさによるサケの網通過率に違いがないことが示唆された（図2）。しかし、追込み実験では、網目一辺16cmの格子網で顕著に忌避行動が多く（図3）、網目一辺16cmが定置網に入るサケにとって強制的に通過することが難しい大きさだと考えられる。このような小さい網目によって大型のサケが通過しにくくなることは、襟裳岬における定置網でも生じることが予想される。一方、網目一辺18cm以上の格子網では追込みによる忌避行動が網目一辺16cmの場合より少なく、金庫網入口に格子網を取り付ける場合には、その網目一辺を18cm以上にすることが望ましいと考えられる。

格子網によるアザラシの被害防除を考えるためには、サケの通過のみではなく、アザラシの通過についても考える必要がある。アザラシの形は流線形であり、骨格構造から通過を制限するのは肩幅であるため、アザラシの肩幅が網目よりも小さければ、アザラシは格子網を通過することができる。Suuronen *et al.* (2006)によると、ハイイロアザラシ *Halichoerus grypus* の若齢個体の侵入を防ぐには網目一辺の長さを18cm以下にする必要があることが示唆されている。ハイイロアザラシの雌の体長が約1.8m、体重が約155kgであること（Härkönen 2016）に対し、ゼニガタアザラシの雌の体長が約1.5～1.7m、体重が約60～110kgであること（Harvey 2016）から、ゼニガタアザラシの方がハイイロアザラシよりも狭い隙間を通過できることが予想され、格子網の網目一辺の長さも18cm未満にする必要がある。しかし、これ以上網

表1. 明・暗条件における網目一辺の長さや色の異なる格子網に対するサケの行動

日付	条件	格子網の種類	サケの尾数	接近回数	通過回数	網通過率	追込み実験におけるサケの通過尾数
2017年10月6日	明	20×20 cm(白色)	5	8	0	0.00	-
	暗	20×20 cm(白色)	5	5	1	0.20	-
2017年10月7日	明	20×20 cm(金茶色)	5	0	0	0.00	1
	暗	20×20 cm(金茶色)	15	0	0	0.00	-
2017年10月9日	明	18×18 cm(白色)	15	0	0	0.00	5
	暗	18×18 cm(白色)	15	0	0	0.00	-
2017年10月10日	明	16×16 cm(白色)	15	0	0	0.00	1
	暗	16×16 cm(白色)	15	5	0	0.00	-
2017年10月11日	明	25×25 cm(白色)	15	6	3	0.50	3
	暗	25×25 cm(白色)	15	17	2	0.12	-
2017年10月12日	明	20×20 cm(白色)	15	7	1	0.14	3
	暗	20×20 cm(白色)	10	29	2	0.07	-
2017年10月14日	暗	20×20 cm(白色)	23	8	4	0.50	-
2017年10月15日	明	20×20 cm(白色)	23	11	8	0.73	7
	暗	20×20 cm(金茶色)	23	19	6	0.32	-
2017年10月16日	明	20×20 cm(金茶色)	23	28	16	0.57	5
	暗	18×18 cm(白色)	23	31	11	0.35	-
2017年10月17日	明	18×18 cm(白色)	22	51	30	0.59	3
	暗	16×16 cm(白色)	22	26	14	0.54	-
2017年10月18日	明	16×16 cm(白色)	22	21	7	0.33	-

目一辺の長さを小さくすると、大型のサケの入網が少なくなり、漁業生産額にも影響を与えてしまう可能性がある。そこで、網目一辺の長さを変えるのではなく、網目の形状を工夫する必要がある。現在使用されている格子網の網目の形状は角目である。梁ら(1999)は扁平な魚種では菱目の方が網目を通過しやすいとしており、横断面に近い網目形状で通過しやすいことが考えられる。サケの横断面は紡錘形であることから、格子網の網目の形状を菱目にするすることで、網目一辺が16cmでもサケの通過率は向上する可能性がある。

格子網の網地色の効果の比較では、明条件・暗条件ともに網通過率には、金茶色と白色の間で有意差が認められなかったが、接近回数は白色に比べ金茶色の格子網が多かった。本研究では、接近はサケの吻端が格子網のある場所に接触しているときと定義しており、サケは格子網の間近に接近するまで、格子網に気づかなかったと考えられる。それ故、これらの結果は、金茶色の格子網が白色のものよりもサケに認識されにくいことを示唆している。神田ら(1958)は、飼育池で数種類の着色網に対するニジマスの魚群行動を観察しており、青緑や青色といった周囲の色とのコントラストが少なく、目立ちにく

い色の着色網で通過率が高いことを示している。また、サケの眼球内には光を感知する網膜視細胞中の視物質としてロドプシンとポルフィロプシンがあり、ロドプシンは光吸収極大が約500nmであるのに対し、ポルフィロプシンでは約522nmである(Wald 1937)。定置網で漁獲されたサケのロドプシンに対するポルフィロプシンの割合は幼稚魚期に比べて高いことが示されており(Hasegawa 2005)、定置網に入網するサケは長波長の光を視認しやすいことが考えられる。したがって、今後、白色や金茶色ではなく、青緑色や青色といったより視認しにくい色の素材で格子網を作ることができれば、サケの通過率も改善される可能性がある。

本研究より、網目一辺が18cm程度で、網地にベクトラン(金茶色)を使った格子網を用いるのがアザラシの侵入を防ぎつつ、サケの入網への影響も低いことが示唆された。網目一辺が18cmよりも大きい方がサケの入網への影響もより低い、アザラシの若齢個体の侵入を防ぐためには網目一辺の長さを18cm未満にする必要がある。このように、格子網の網目一辺の長さがサケの入網とアザラシの防除に与える影響はトレードオフの関係にある。従って、そのときのアザラシによる被害状況に応

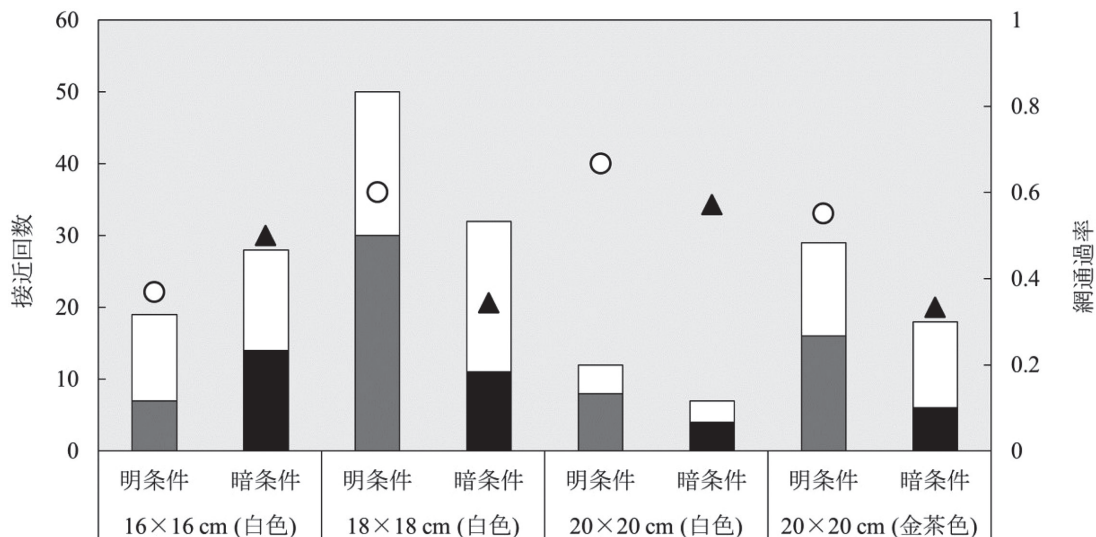


図2. 各種格子網の明・暗条件における接近回数と網通過率
 接近回数を示す棒グラフのうち、白色部は忌避回数、暗色部は通過回数を示す
 網通過率は通過回数／接近回数の値を示す。図中の丸は明条件における網通過率を、三角は暗条件における網通過率を示す

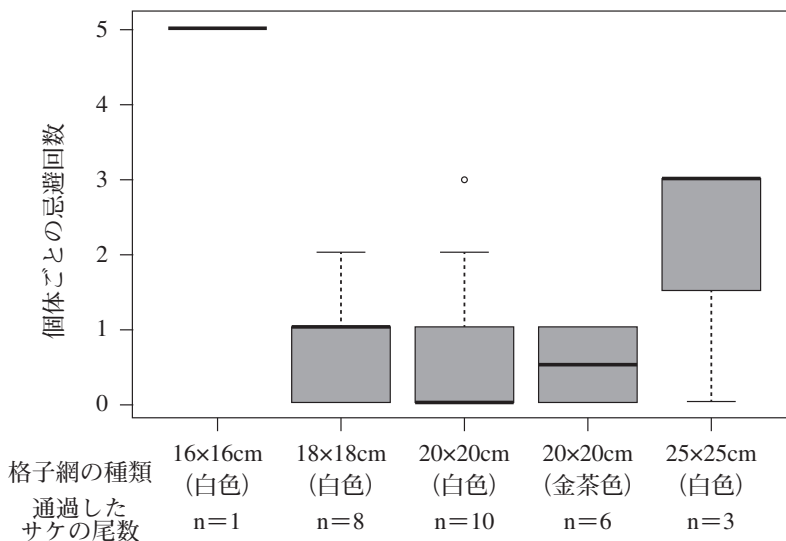


図3. 各種格子網の追込み実験におけるサケの忌避回数
 図中の太線は中央値、箱の最上端は第3四分位数、箱の最下端は第1四分位数を表す
 箱の上下にある垂線は「第1四分位数 - 1.5 × (第3四分位数 - 第1四分位数)」以上「第3四分位数 + 1.5 × (第3四分位数 - 第1四分位数)」以下の範囲を表し、丸は外れ値を表す

じて網目一辺を16cmから20cmの間で格子網を変えることで、ゼニガタアザラシによるサケの食害被害の低減につながる可能性がある。今後、格子網の網目の形状を角目から菱目に変えることで、網目一辺の長さを小さくさせずにサケの入網への影響を低減させられるかもしれない。

謝 辞

本研究は環境省の委託事業により行われた。本研究を実施するにあたり、多くの方のご助言とご協力を頂いた。特に、北海道大学大学院水産科学研究院の藤森康澄教授、函館頭足類科学研究所所長の桜井泰憲教授、北海道大学

北方生物圏フィールド科学センターの宮下和土教授、国立研究開発法人水産研究・教育機構水産工学研究所の高山剛博士には、実験の手法等について様々なご助言を受け賜わった。えりも漁業協同組合の皆様、南かやべ漁業協同組合木直支所古部出張所の皆様、南かやべ漁業協同組合尾札部支所の酒井浩幸氏、また小林康基氏には、実験機材の製作とご提供を頂いた。北海道大学北方生物圏フィールド科学センターの北川貴子氏と青山恵氏、松井良春氏、函館国際水産・海洋都市推進機構の職員の皆様、そして同研究室の学生の皆様には、実験を進めるにあたり、様々な面でご協力を頂いた。本研究に携わった皆様

文 献

- Fujimori Y, Abe K, Shimizu S, Miura T (2000) Analysis of the escape behavior of juvenile salmon *Oncorhynchus keta* from the bag-net for by-catch prevention in a setnet fishery. *Fish. Sci.*, **66**, 424 - 431.
- Fujimori Y, Ochi Y, Yamasaki S, Ito R, Kobayashi Y, Yamamoto J, Tamaru O, Kuramoto Y, Sakurai Y (2018) Optical and acoustic camera observations of the behavior of the Kuril harbor seal *Phoca vitulina stejnegeri* after invading a salmon setnet. *Fish. Sci.*, **84**, 953 - 961.
- Härkönen T (2016) *Halichoerus grypus* (Baltic Sea subpopulation). *The IUCN Red List of Threatened Species 2016*. e. T74491261A74491289. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-1.RLTS.T74491261A74491289.en>, 26 June 2018.
- Harvey J (2016) *Phoca vitulina ssp. stejnegeri*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2016*. e. T17014A66991317. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-1.RLTS.T17014A66991317.en>, 26 June 2018.
- Hasegawa E (2005) Changes in rhodopsin-porphyrin ratio of chum and pink salmon. *Fish. Sci.*, **71**, 1091 - 1097.
- 橋本 進 (1982) サケ親魚の活魚輸送時に必要な酸素放出量について. 北海道さけ・ますふ化場研究報告, **36**, 71 - 73.
- 北海道地方環境事務所 (2018) 平成30年度環境省えりも地域ゼニガタアザラシ管理事業実施計画, 28 p.
- 井出潤也 (2011) ポリアリレート繊維〈ベクトラン〉の性能と用途. 繊維製品消費科学, **52**, 691 - 695.
- 磯野岳臣・新村耕太・服部 薫・山村織生 (2013) トド被害防除対策としての強化刺網開発. 水産技術, **6**, 17 - 26.
- 伊藤徹魯・宿野部猛 (1986) ゼニガタアザラシの生息数と生息状況. 「ゼニガタアザラシの生態と保護」(和田一雄・伊藤徹魯・新妻昭夫・羽山伸一・鈴木正嗣編), 東海大学出版, 東京, pp.18 - 58.
- 神田献二・小池 篤・小倉通男 (1958) 漁網の色に関する研究-II. 日水誌, **23**, 617 - 620.
- 環境省 (2016) えりも地域ゼニガタアザラシ特定希少鳥獣管理計画, 38 p.
- 加藤和美・佐藤嘉洋・齊藤秀夫 (2006) 高強力ポリエチレン繊維の低温染色. 愛知県産業技術研究所研究報告, 180 - 183.
- Kobayashi Y, Kariya T, Chishima J, Fujii K, Wada K, Baba S, Ito T, Nakaoka T, Kawashima M, Saito S, Aoki N, Hayama SI, Osa Y, Osada H, Niizuma A, Suzuki M, Uekane Y, Hayashi K, Kobayashi M, Ohtaishi N, Sakurai Y (2014) Population trends of the Kuril harbour seal *Phoca vitulina stejnegeri* from 1974 to 2010 in southeastern Hokkaido, Japan. *End. Spe. Res.*, **24**, 61 - 72.
- 小池 篤・神田献二・小倉通男 (1958) 北洋鮭鱒流刺網の色彩に関する基礎的実験. 日水誌, **24**, 5 - 8.
- 熊沢泰正 (2016) 漁具材料「水産海洋ハンドブック 第3版」(竹内俊郎・中田英昭・和田時夫・上田 宏・有元貴文・渡部終五・中前 明・橋本 牧編), 生物研究社, 東京, pp.219 - 227.
- 梁 振林・堀川博史・時村宗春・東海 正 (1999) 底曳網の網目選択性に及ぼす魚体横断面形状の影響. 日水誌, **65**, 441 - 447.
- 新妻昭夫 (1986) ゼニガタアザラシの社会生態と繁殖戦略. 「ゼニガタアザラシの生態と保護」(和田一雄・伊藤徹魯・新妻昭夫・羽山伸一・鈴木正嗣編), 東海大学出版会, 東京, pp.59 - 102.
- Suuronen P, Siira A, Kauppinen T, Riikonen R, Lehtonen E, Harjunpää H (2006) Reduction of seal-induced catch and gear damage by modification of trap-net design: design principles for a seal-safe trap-net. *Fish. Res.* **79**, 129 - 138.
- Wald G (1937) Visual purple system in fresh-water fishes. *Nature*, **139**, 1017 - 1018.
- 頼光周平 (2010) ポリアリレート繊維 (その特性と用途). 繊維学会誌, **66**, 86 - 90.