

土砂の透水性に着目したイカナゴ夏眠場における粒径の下限の推定

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2025-03-21 キーワード (Ja): 透水性; 粒径; イカナゴ; 夏眠場 キーワード (En): 作成者: 梶原, 直人, 高橋, 正知 メールアドレス: 所属:
URL	https://fra.repo.nii.ac.jp/records/2013930

【報 文】

土砂の透水性に着目したイカナゴ夏眠場における粒径の下限の推定

梶 原 直 人^{1,*}・高 橋 正 知²

Estimation of the Lower Limit of Grain Size in the Aestivation Site of Japanese Sand Lance *Ammodytes japonicus* (DUNCKER & MOHR) in Respect of the Water Permeability of Sediments

Naoto KAJIHARA^{1,*} and Masanori TAKAHASHI²

Abstract

Using the effective diameter D20 used in Creager's formula, which is most used to calculate hydraulic conductivity, we evaluated the lower limit of particle size in aestivation sites of Japanese sand lance *Ammodytes japonicus* (DUNCKER & MOHR). We investigated the relationship between the number of Japanese sand lance collected in their aestivation sites and the effective diameter D20 of the bottom sediment. As a result, the number of Japanese sand lance in the sites where the effective diameter D20 is 0.2 mm or less, where the water permeability drops sharply, was significantly reduced. This suggests that the grain size (pore size) must be large enough to ensure breathing during aestivation as a condition for the establishment of aestivation of in the Japanese sand lance. It was also shown that effective diameter D20 of 0.2 mm or greater, where the aestivation sites of Japanese sand lance are established, generally corresponds to 0.3–4 mm or greater in D50 (median diameter), which are the most used indicators of the grain size distribution of the bottom sediment.

1. 緒 言

イカナゴ *Ammodytes japonicus* (DUNCKER & MOHR) は、瀬戸内海を代表する産業上の重要魚種のひとつである。しかし、イカナゴ瀬戸内海東部系群の漁獲量は、1952 年以降増加して 1980 年に過去最高の 72,765 トンに達した以降は年変動があるものの減少が続き、2020 年には過去最低の 833 トンを記録している (高橋ら 2024)。イカナゴの漁獲量減少の原因は多岐にわたっていると考えられており、なかでも水温上昇 (山田・久野 1999, 赤井・内海 2012, 富山・小松 2006, 赤井・岡本 2019) や貧栄養化 (反田・原田 2012, Nishikawa *et al.* 2020), 餌条件と水温の符合 (Nanjo *et al.* 2017) 等の環境変動が影響しているという知見が得られている。さらに、イカナゴは水温の高い夏季の長期間を潜砂して夏眠する習性がある。

かつて海砂採取が盛んであった備讃瀬戸ではイカナゴ漁獲量が減少した一方で、海砂の採取禁止または採取実績のない播磨灘、大阪湾では減少しなかったことから、夏眠場の底質が資源に与える影響は大きいと考えられている (反田 2012)。イカナゴは夏眠終了後直ちに産卵に入るため、イカナゴ夏眠場における底質環境は再生産や資源状態の目安としても非常に重要であることも知られている (中村ら 1997)。そのため、イカナゴ夏眠場として好適な粒径を示しながらイカナゴ親魚の漁獲が認められない事例が頻発する場合には、イカナゴの資源状態の悪化が推察される。また、底質環境の変化によって夏眠場の粒径等が大きく変動する場合はイカナゴ夏眠場として機能しなくなる懸念があり、イカナゴの資源状態に直接悪影響を与えることも考えられる。このようにイカナゴ夏眠場は、イカナゴ資源を維持するうえで極めて

2024 年 2 月 6 日受付, 2024 年 6 月 10 日受理

キーワード: 透水性, 粒径, イカナゴ, 夏眠場

Key words : water permeability, grain size, Japanese sand lance, aestivation site

¹ Hatsukaichi Field Station, Fisheries Technology Institute, Japan Fisheries Research and Education Agency, 2-17-5 Maruishi, Hatsukaichi, Hiroshima 739-0452, Japan (国立研究開発法人水産研究・教育機構水産技術研究所廿日市庁舎 〒739-0452 広島県廿日市市丸石 2-17-5)

² Pelagic Fish Resources Division, Fisheries Stock Assessment Center, Fisheries Resources Institute, Japan Fisheries Research and Education Agency, 2-17-5 Maruishi, Hatsukaichi, Hiroshima 739-0452, Japan (国立研究開発法人水産研究・教育機構水産資源研究所水産資源研究センター浮魚資源部 〒739-0452 広島県廿日市市丸石 2-17-5)

* Corresponding author,

e-mail: kajihara_naoto12@fra.go.jp

Tel: 0829-55-3463

重要な役割を担っており、その成立する底質の粒径の範囲の解明や、成立要因の科学的知見に基づいたイカナゴ夏眠場の管理と維持は非常に重要である。

イカナゴの夏眠場所となる底質の粒径の範囲は、各海域で異なっており最も広い範囲は0.5~4 mmの間とされている(中村ら1997)。しかし、イカナゴの夏眠場所はより細粒の底質では成立しないこと(富永1988, 中村ら1997)、砂相当の粒径においては礫と異なり、飽和時において底質硬度の指標であるベンセン断抵抗が、必ずしも粒径が小さくなるほど減少しないことが明らかとなっていることから(梶原ら2021)、単純に粒径や底質硬度とイカナゴの潜砂能力とのマッチングだけでは夏眠場所の好適な底質環境、とりわけ粒径の下限について説明できない。イカナゴの夏眠時の飼育実験に際して、夏眠床はエアリフト方式で砂中の間隙水が絶えず循環するように設計されていることから(山田・久野1999, 赤井・岡本2019)、イカナゴ夏眠場所の好適な底質環境の条件には、夏眠時の呼吸を保障するためにある程度の粒径とそれに伴う間隙及び透水性の確保が必要である可能性がある。例えばシロウオでは粒径1~4 mm程度の砂礫質の底質に好んで営巣し、水通しが悪いと考えられるシルトや粘土の割合の高い底質では営巣数が減少することが知られている(竹垣ら2015)。一般に、透水性の指標となる透水係数は、粒径が細かいほど小さくなるが、これは粒子の細かい土では、それぞれの間隙が小さいため、水流に対する摩擦抵抗が大きいためとされている(松尾1984)。乾・吉村(1997)では、種々の要素を変化させた基質を用いて透水係数を測定した結果、平均粒径の増大及び均等係数の減少によって透水係数が増大することを明らかにしている。とりわけ、平均粒径が0.4 mm以下の基質では透水係数が大幅に減少することが明らかとなっている。また、梶原(2023)では、粒径0.177~0.250 mm(平均粒径: 0.2 mm)のガラスビーズにおいて、それより粒径の大きなガラスビーズと比較すると有意に透水性が低下することを明らかにしている。さらに、梶原(2023)では透水性の指標として最もよく使われるものの一つである Creager の公式(稲崎・小西2010)で透水係数を算出するのに用いられる有効径 D20 においても、0.23 mm と 0.48 mm の間で有意に透水性が低下することを明らかにしている。これらのことから、イカナゴの好適な夏眠場所の粒径下限を解析するにあたって、イカナゴの漁獲データと底質の分析結果をもとに有効径 D20 を算出し、透水性が急激に低下する 0.2 mm 程度でのイカナゴ漁獲数を検証することにより、イカナゴ夏眠場の好適な粒径の下限の科学的な根拠を示すことが可能と考えられる。

これらの知見をふまえて、過去のイカナゴ夏眠場調査が行われた底質の透水性について有効径 D20 を算出す

ることによって推定するとともに、既往のイカナゴ夏眠場の知見において多用されている D50 (メジアン径) においても、イカナゴ夏眠場の粒径下限と透水性との関係、および有効径 D20 と D50 (メジアン径) との関係を確認することを試みた。それらの結果から、イカナゴの好適な夏眠場所の粒径下限の判別を安価・簡便に行い、好適な夏眠場の潜砂環境からイカナゴ資源の管理に貢献するための一助とすることを目的とした。

2. 材料及び方法

本研究で用いたイカナゴ夏眠場のデータは、2015~2021年に瀬戸内海東部各地で行われた空釣りこぎによるイカナゴ夏眠親魚調査海域(Figure 1)における親魚の採集結果およびイカナゴ夏眠親魚調査定点における底質の分析結果である。調査には、水産研究・教育機構水産資源研究所所属の漁業調査船「こたか丸(59t)」を用いた。イカナゴ夏眠親魚は、空釣りこぎ曳航による採集を行った。空釣りこぎは、幅3mのステンレス製のパイプに22個のスマル(錘付き針束)が結ばれたロープが装着されており(Photo 1)、これを海底に沈めて5分間曳航し、砂中のイカナゴを針にかけて漁獲するものである。曳航は、1定点につき3回行い、得られたイカナゴの採集尾数の平均を平均出現個体数とした。また、魚体の大きさによる潜砂能力の影響の有無を明らかにするため、

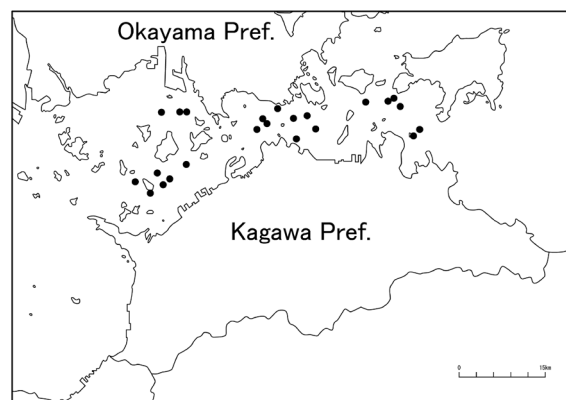


Figure 1. Sampling locations for Japanese sand lance and bottom sediment in the Seto Inland Sea.

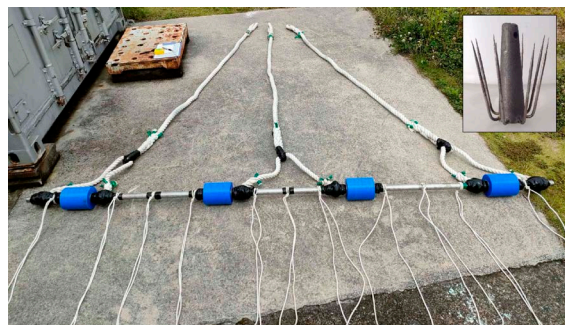


Photo 1. Fishing gear for collecting of Japanese sand lance.

平均出現個体数はイカナゴ0歳魚および1歳以上に区別しそれぞれ算出した。

底質は、空釣りこぎによる夏眠親魚採集ののち、採集面積1/20 m²のスミス・マッキンタイヤ採泥器を用いて採集した。採集された底質は、冷凍して研究室に持ち帰り、篩法によって粒度分析を行った。粒度分析はWentworth (1922) の粒径区分及びKrumbein (1934) によって定義された ϕ スケールに従い、粒径2 mm 以上を礫 ($\phi < -1$)、2~1 mm を極粗砂 ($\phi = -1 \sim 0$)、1~1/2 mm を粗砂 ($\phi = 0 \sim 1$)、1/2~1/4 mm を中砂 ($\phi = 1 \sim 2$)、1/4~1/8 mm を細砂 ($\phi = 2 \sim 3$)、1/8~1/16 mm を極細砂 ($\phi = 3 \sim 4$)、1/16~1/256 mm をシルト ($\phi = 4 \sim 8$)、それ以下を粘土とし ($\phi > 8$)、各分画について重量百分率を算出した。イカナゴ夏眠場調査における底質の粒度分布から、フリーソフトウェアの粒子径解析プログラム Win AZ を用いて解析を行い、透水係数として最もよく使われるものの一つである Creager の公式 (稲崎・小西 2010) に準じて有効径 D20 を透水性の指標として算出した。また、粒径を代表する一般的な表記であり、過去のイカナゴ夏眠場調査において解析に用いられている D50 (メジアン径) (富永 1988, 中村ら 1997) についても、同様に Win AZ を用いて算出し解析に用いた。

また、各調査定点において有効径 D20 と D50 (メジアン径) との相関、算出された有効径 D20 と D50 が、イカナゴ採集個体の有無で差があるかどうかおよびイカナゴ0歳と1歳以上の出現が粒度において差が認められるか検証するために、KTS&C 社のフリープログラム tah48.exe を用いて Kruskal-Wallis の検定を行った。

3. 結 果

イカナゴ夏眠場調査定点における底質の有効径 D20、および既存のイカナゴ調査における夏眠場の粒径表記が、粒径を代表する際に多用される D50 (メジアン径) と分散安定化のため平方根変換したイカナゴ0歳、1歳魚以上の平均出現個体数との関係を Figures 2~5 に示す。イカナゴ0歳、1歳魚以上とも D20 が 0.2 mm (Figures 2, 4: 破線) 以上で多く出現し、有効径 D20 が 0.4 mm 程度をピークとして 1.0 mm 程度まで出現した。D50 (メジアン径) では、イカナゴ0歳、1歳魚以上とも 0.3 mm (Figures 3, 5: 破線) 以上でイカナゴが出現し、0.5 mm 程度をピークとして 1.3 mm まで出現した。また、イカナゴ夏眠場調査定点における底質の有効径 D20 と D50 (メジアン径) とイカナゴ0歳、1歳魚以上の出現との関係を Figures 6, 7 に示す。有効径 D20 が 0.2 mm 未満であれば D50 (メジアン径) は 0.5 mm 未満であった (Figures 6, 7: 破線)。イカナゴ0歳魚と1歳魚以上の間に出現様式や有効径 D20 および D50 (メジアン径) の顕著な差は認められなかった。

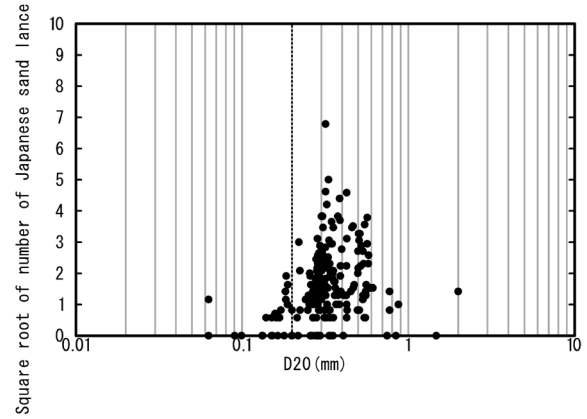


Figure 2. Relationship between effective diameter D20 of bottom sediment and the numbers of Japanese sand lance (Average for age 0) collected (square root transformation). Dashed line: D20 = 0.2 mm.

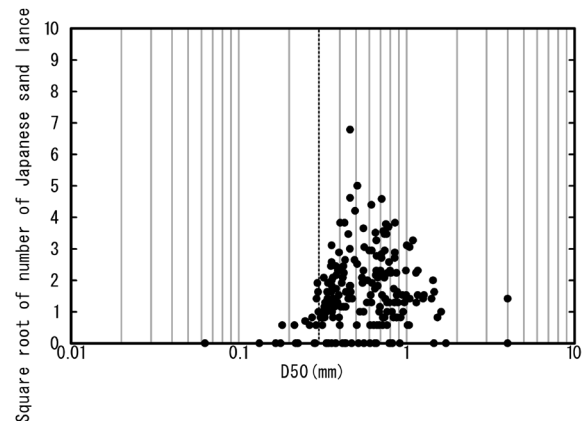


Figure 3. Relationship between effective diameter D50 of bottom sediment and the numbers of Japanese sand lance (Average for age 0) collected (square root transformation). Dashed line: D50 = 0.3 mm.

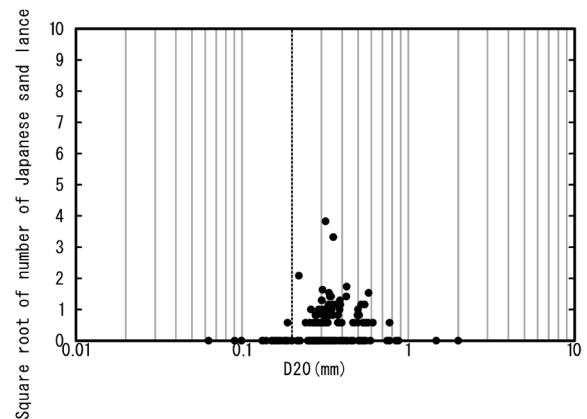


Figure 4. Relationship between effective diameter D20 of bottom sediment and the numbers of Japanese sand lance (Average for age 1 and above) collected (square root transformation). Dashed line: D20 = 0.2 mm.

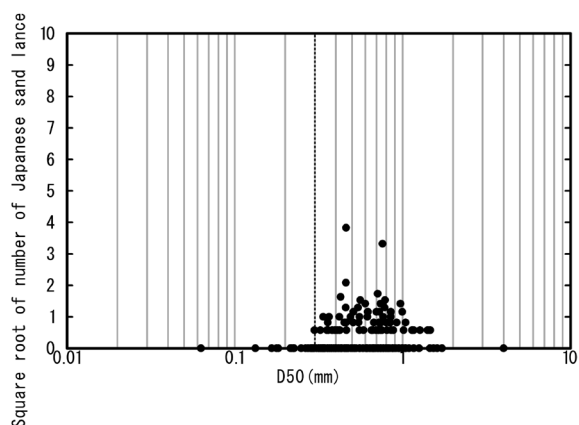


Figure 5. Relationship between effective diameter D50 of bottom sediment and the numbers of Japanese sand lance (Average for age 1 and above) collected (square root transformation). Dashed line: D50 = 0.3 mm.

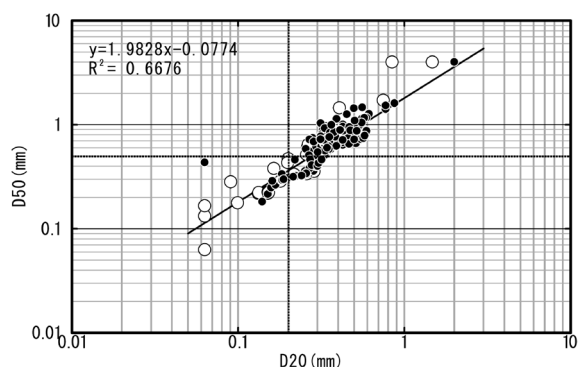


Figure 6. Relationship between the effective diameter of the bottom sediment (D20) and the median diameter (D50). The symbols in the figure are as follows. ●: Stations where Japanese sand lance were collected (Age 0). ○: Stations where no Japanese sand lance were collected (Age 0). Dashed line: D20 = 0.2 mm, D50 = 0.5 mm.

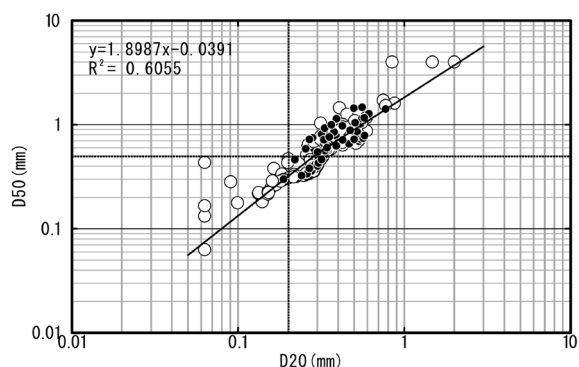


Figure 7. Relationship between the effective diameter of the bottom sediment (D20) and the median diameter (D50). The symbols in the figure are as follows. ●: Stations where Japanese sand lance were collected (Age 1 and above). ○: Stations where no Japanese sand lance were collected (Age 1 and above). Dashed line: D20 = 0.2 mm, D50 = 0.5 mm.

各調査定点において算出された有効径 D20 と、イカナゴ採集個体の出現率との関係を Figure 8 に示す。有効径 D20 では、イカナゴ採集個体の出現率が 0.2 mm で 50%, 0.35 mm では 90% を上回った。各調査定点において算出された有効径 D50 (メジアン径) と、イカナゴ採集個体の出現率との関係を Figure 9 に示す。D50 (メジアン径) では、イカナゴ採集個体の出現率が 0.3 mm で 50%, 0.5 mm で 90% を上回った。

4. 考 察

イカナゴ夏眠場調査における、底質の有効径 D20 とイカナゴ 0 歳魚、1 歳以上の出現数との関係を Figures 2, 4 および透水性に関する実験の結果 (梶原 2023) を踏まえて考察する。ガラスビーズや珪砂による実験結果で得られた、透水性が急激に減少する有効径 D20 が 0.2 mm を下回る底質においては、イカナゴ 0 歳魚、1 歳魚以上とも、出現する定点が大幅に減少した。ただし、イカナゴ夏眠場調査の結果からは D20 が 0.18 mm 程

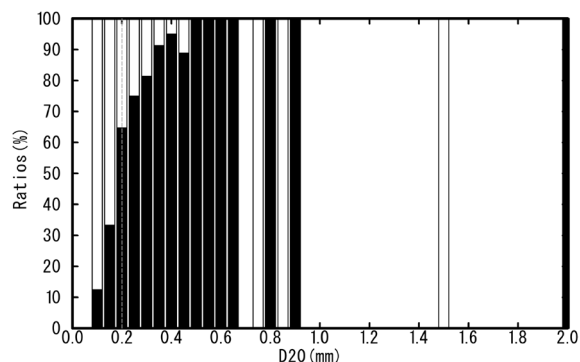


Figure 8. Ratios of stations surveyed for each D20 effective diameter. The symbols in the figure are as follows. ■: Stations where Japanese sand lance were collected. □: Stations where no Japanese sand lance were collected. Dotted line: D20 = 0.2 mm.

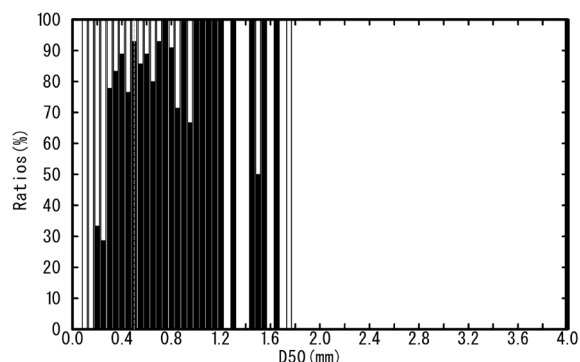


Figure 9. Ratios of stations surveyed for each D50. The symbols in the figure are as follows. ■: Stations where Japanese sand lance were collected. □: Stations where no Japanese sand lance were collected. Dotted line: D50 = 0.5 mm.

度でもイカナゴの夏眠場となっている事例が散見される。これについては、Creagerの公式ではD20が0.2 mmにおける透水係数が 8.90×10^{-3} cm/secであるのに対し、0.18 mmでは 6.85×10^{-3} cm/secとその差は小さい(鈴木1988)ことが影響している可能性がある。

また、本研究も含めたイカナゴ調査は島嶼域周辺の海域で行われることが多く(Figure 1)、採泥時に複雑で局所的な底質環境が反映される懸念がある。

従来の0.5 mm以下の粒径においてイカナゴ夏眠場が成立しないとされる知見(中村ら1997, 富永1988)は、本研究結果及び梶原(2023)やCreagerの公式(稲崎・小西2010)によって合理的に説明されていると考えられる。夏眠時の呼吸の保証に関わるということは、イカナゴの夏季における生存に直結する事象であるので、海域によらず0.5 mm以下の粒径で夏眠場が形成されない理由としては妥当であると判断できる。また、本研究結果では透水性の低下という底質の機能的な観点から解析を行っており、中村ら(1997)や富永(1988)よりも詳細にイカナゴ夏眠場の粒径の下限を推定することが可能となった。それにより、D50(メジアン径)が0.5 mmを超えた場合には有効径D20が0.2 mmを上回り(Figures 6, 7), Figures 2, 4においてイカナゴの出現が急激に増加する現象については、底質のD50(メジアン径)が0.3 mm以上でイカナゴが夏眠場として利用するといった従来の知見より詳細な解析結果が得られている(Figures 3, 5)。さらに、イカナゴの出現率における各調査定点の有効径D20およびD50(メジアン径)の比較においても、上記と同様の傾向が認められた(Figures 8, 9)。すなわち、D20が0.2 mm及びD50(メジアン径)が0.3 mm以上でイカナゴの出現率がともに急激に上昇しており、透水性がイカナゴ夏眠場の粒径の下限を制限するという本考察内容を支持する一貫した結果が得られているといえる。

本研究結果では、イカナゴ0歳魚と1歳魚以上との間に夏眠場が成立する有効径D20に差は認められなかった。少なくとも夏眠場が成立する粒径下限には、年齢やそれに連動する体長に由来する潜砂能力の差は影響しないと考えられる。一方で、夏眠場が成立する粒径の上限については、伊勢湾で4 mm(中村ら1997)、兵庫県では2 mm(反田1998)など差が認められる。この差には地域ごとに主体となる年級群とそれに伴う潜砂能力の差が影響している可能性がある。また、底質の物理的性質の差が影響している可能性もあり、とりわけ粒径2 mm以上の礫質堆積物においては底質の形状や密度の差は潜砂に必要な力の目安となるベーンセン断抵抗の数値に有意な相関があることが知られている(吉村・小川1993, 梶原・佐々2019, 2020)。イカナゴ夏眠場には石英など一般的に底質堆積物を構成する鉱物よりも密度が低い貝殻礫

が含まれることがあり、その好適な含有率は16.9%以下とする知見もあるが(反田1998)、今後の課題として、夏眠場の底質を分析する際に底質の粒径・密度や形状のほか、ベーンセン断抵抗も含めた変数で総合的に解析する必要がある。

本研究の結果、イカナゴ夏眠場の下限の粒径は、透水性の大幅な低下を引き起こす間隙によって決定されていることが明らかとなった。今後はイカナゴが高密度で出現した底質について、その種々の性質を明らかにし、好適な夏眠場の成立条件をさらに詳細に解明する必要がある。

本研究の一部は水産庁委託事業「水産資源調査・評価推進事業」の一環で実施されている。

参考文献

- 赤井紀子・岡本繁好(2019) 瀬戸内海産イカナゴ1歳魚以上の死亡に及ぼす夏眠期における水温の影響, 香水試研報, 18, 1-4.
- 赤井紀子・内海範子(2012) 瀬戸内海産イカナゴの死亡と再生産に及ぼす夏眠期における高水温飼育の影響, 日本水産学会誌, 78, 399-404.
- 稲崎富士・小西千里(2010) 堤防基礎地盤における透水係数と粒度特性の関係, 河川技術論文集, 16, 377-382.
- 乾 英隆・吉村優治(1997) 砂質土の透水係数の予測に関する研究, 第9回中部地盤工学シンポジウム論文集, 91-94.
- 梶原直人(2023) 潜砂環境要因としての透水性指標の簡便な測定法, 水産工学, 60, 73-77.
- 梶原直人・佐々真志(2020) 円形度と摩擦係数に基づく礫質土砂環境の硬度評価の研究, 水産工学, 56, 165-172.
- 梶原直人・佐々真志(2019) 多様な湿潤密度を有する礫質土砂環境の硬度評価の研究, 海の研究, 28-3, 41-50.
- 梶原直人・梁 順普・佐々真志(2021) 静置下におけるフジノハナガイ *Donax semigranosus* (Dunker) の潜砂に与える砂質土砂の粒径と形状の影響, 水産工学, 57, 99-105.
- Krumbein WC(1934) Size frequency distribution of sediments, *J. Sediment. Res.*, 4, 65-77.
- 松尾新一郎(1984) 新稿土質工学, 山海堂, 東京, 253 p.
- 中村元彦・船越茂雄・向井良吉・家田喜一・石川雅章・柳橋茂昭(1997) 伊勢湾産イカナゴの夏眠場所, 愛知県水産試験場研究報告, 4, 1-9.
- Nanjo N, Takatsu T, Imura K, Itoh K, Takeya Y, Takahashi T(2017) Feeding, somatic condition and survival of sand lance *Ammodytes* sp. larvae in Mutsu Bay, Japan, *Fish.*

- Sci., 83, 199–214.
- Nishikawa T, Nakamura Y, Okamoto S, Ueda H (2020) Inter-annual decrease in condition factor of the western sand lance *Ammodytes japonicus* in Japan in the last decade: Evidence for food-limited decline of the catch, *Fish. Oceanogr.*, 29, 52–55.
- 鈴木音彦 (1988) 第3章土の透水性と地下水の運動. 新版例題演習土質工学 (改訂版), 東洋書店, 東京, pp. 71–134.
- 高橋正知・河野悌昌・西嶋翔太・安田十也・渡井幹雄・井元順一・日野晴彦・木下順二 (2024) 令和5 (2023) 年度イカナゴ瀬戸内海東部系群の資源評価. 令和5年度我が国周辺水域の漁業資源評価, 水産庁・水産研究・教育機構, p. 9, https://abchan.fra.go.jp/wpt/wp-content/uploads/2024/03/details_2023_56.pdf
- 竹垣 毅・永瀬朔一・井手勇旗・佐々木学人・天谷貴史・金谷洋佑・寺田龍介 (2015) シロウオ *Leucopsarion petersii* の産卵場造成効果の検証, 日本水産学会誌, 81(4), 722–724.
- 反田 實 (2012) イカナゴの漁獲動向と瀬戸内海の家砂採取. 日本沿岸における漁業資源の動向と漁業管理体制の実態調査—平成23年度事業報告—. 一般財団法人東京水産振興会編, 東京, pp. 79–94.
- 反田 實 (1998) 第1編沿岸環境圏の科学, 第1節漁場の海洋環境 (2) 内海漁場—イカナゴと底質, 「沿岸の環境圏」(平野敏行監修), フジ・テクノシステム, 東京, pp. 348–355.
- 反田 實・原田和弘 (2012) 瀬戸内海東部 (播磨灘) の栄養塩環境と漁業, 海洋と生物, 34, 132–141.
- 富永 裕 (1988) 茨城県沿岸海域におけるイカナゴについて第2報 (成魚の分布と生息環境), 茨城水試研報, 26, 111–124.
- 富山 実・小松輝久 (2006) 水温が伊勢湾産イカナゴ初期生活史の成長と加入資源量に与える影響, 水産海洋研究, 70, 114–121.
- Wentworth CK (1922) A scale of grade and class terms for clastic sediments, *J. Geol.*, 30, 377–392.
- 山田浩且・久野正博 (1999) 夏眠期における伊勢湾産イカナゴのへい死条件, 三重水技研報, 8, 1–5.
- 吉村優治・小川正二 (1993) 砂のような粒状体の粒子形状の簡易な定量化法, 土木学会論文集, 463/III-22, 95–103.