

日本海

リサーチ & トピックス

2019年9月 第25号



日本海西部海域でのトロール調査風景

- マダラの集団構造解析から資源の「切れ目」を探る
- 安定同位体比による日本海陸棚海域における食物網構造の解析
- 無給餌期間がキジハタ畜養魚に与える影響
- 2018年度本州日本海側河川に回帰したサケの小型化

編集 日本海区水産研究所



国立研究開発法人
水産研究・教育機構

■ ■ 目 次 ■ ■

マダラの集団構造解析から資源の「切れ目」を探る 佐久間啓（資源管理部・資源生態グループ）	3
安定同位体比による日本海陸棚海域における食物網構造の解析 木暮陽一（資源環境部・浅海環境グループ）	7
無給餌期間がキジハタ畜養魚に与える影響 清水健*・竹内宏行（資源生産部・資源増殖グループ） *現 増養殖研究所 ウナギ種苗量産研究センター・量産実証グループ	11
2018年度本州日本海側河川に回帰したサケの小型化 飯田真也（資源管理部・沿岸資源グループ）	15

表紙の解説

日本海西部海域でのトロール調査風景

写真撮影 上田祐司（資源管理部・資源生態グループ）

解説 佐久間啓（資源管理部・資源生態グループ）

日本海西部海域において当水産研究所が実施しているトロール調査（ズワイガニ等底魚資源調査）では、2000年代以降、島根県沖を中心に多くのマダラが採集されます。写真手前側のかごの中には体長70cmを超えるような大型個体（5歳以上）が、デッキ上に散らばる漁獲物には体長40cm程度の若齢魚（2～3歳）も見られます。日本海のマダラは、北部（青森県～石川県）を中心に年間3000トン前後の水揚げがある一方、日本海西部（福井県～島根県）でも漁獲されており、年によっては1000トン近い水揚げがあることは、あまり知られていません。マダラの資源状態をよりの確にとらえるためには、マダラの集団が日本海でどのように分布しているかを把握する必要があります。

マダラの集団構造解析から 資源の「切れ目」を探る

佐久間啓（資源管理部・資源生態グループ）



日本海におけるマダラ資源の区分を、集団遺伝解析と分布調査に基づき検討しました

【はじめに】

水産資源の状態を調べる際、対象とする生物のまとまりを「系群」と呼ぶ。資源の実態に即した系群を設定することにより、資源の状態をより高い精度で評価することができるとされる。我が国の資源評価では、多くの系群が海域に従って区分されているが(例えば日本海系群、太平洋系群等)、これは海域をまたいだ生物の移動が限られると考えられるためである。一方、資源の状態による分布・回遊の変化や分類に関する新たな知見により、評価精度向上のため、より適切な系群の再設定が求められる場合もある。このような場合、分布や個体の移動に関する情報を元に資源の「切れ目」を探索し、系群を分ける必要が生じる。

マダラは北太平洋に広く分布する底魚である。日本海のマダラは冬期を中心に沿岸で漁獲され、青森県から石川県を対象に資源評価が行われてきた(日本海系群)。一方、マダラは福井県より西の海域にも分布することが知られる(日本海西部)。近年、富山湾(日本海系群)と鳥取県境港沖(日本海西部)のマダラが遺伝的に異なることが指摘され(Suda *et al.* 2017)、日本

海に性質の異なる複数のマダラ集団が存在することが明らかになった。そこで、これらの地点に挟まれた山陰沖、若狭湾、能登半島周辺を含めた日本海のマダラ全体について、系群を再設定することを目的に、分布調査および集団遺伝解析を行った(図1)。

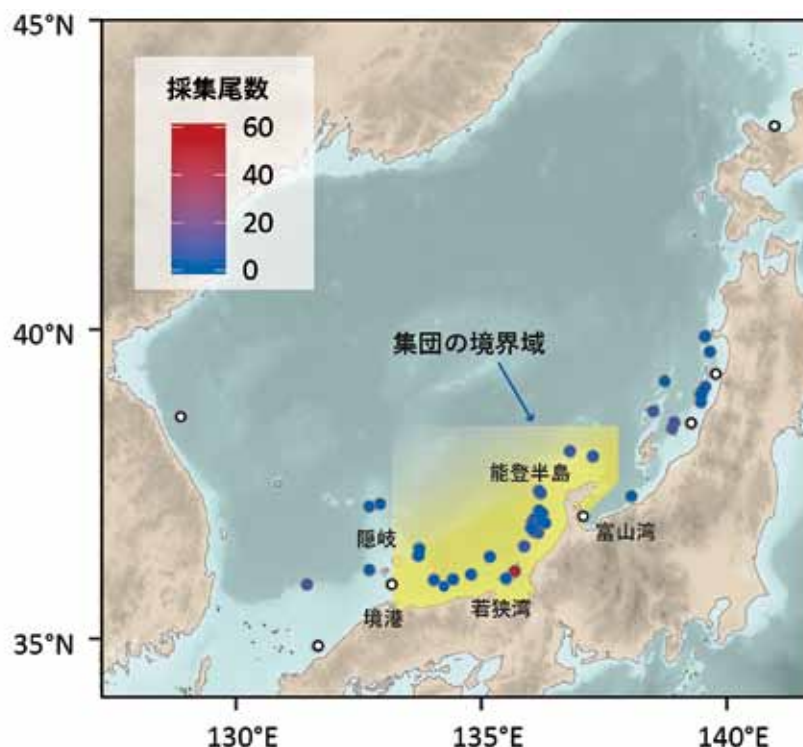


図1. 集団遺伝解析に用いたサンプルの採集地点

点の色は採集尾数を示す。黄色で示した海域が、遺伝的集団の境界が存在すると考えられる海域。先行研究で塩基配列が得られている地点を白丸で示した。

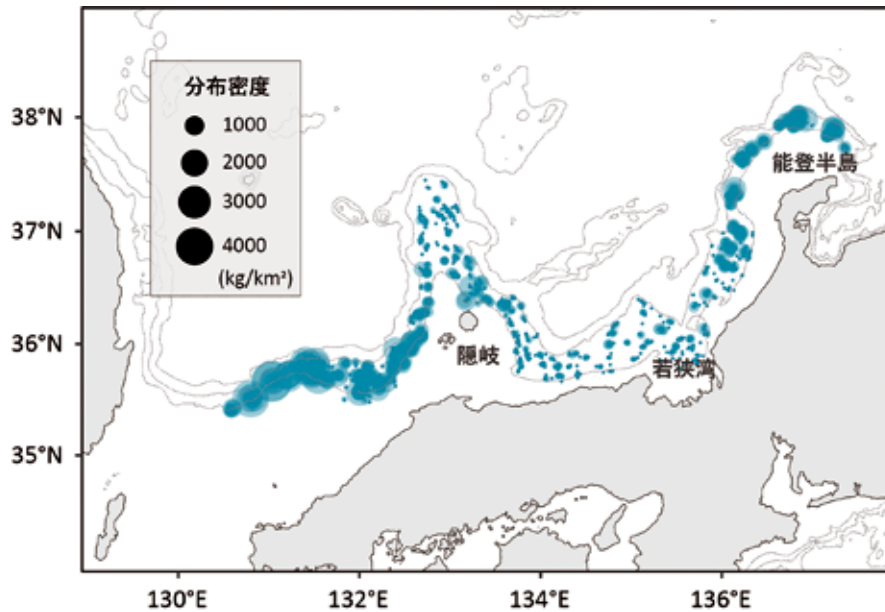


図2. 日本海西部におけるトロール調査の結果 丸の大きさは調査地点における分布密度に比例する。

【分布調査】

対象生物の分布状況に関する知見は、資源の実態を捉える上で不可欠である。そこで、日本海西部の島根県から石川県の沖合における着底トロール調査（ズワイガニ等底魚資源調査、資源評価調査事業、但州丸、兵庫県立香住高校）の結果を用い、マダラの分布密度が海域によって異なるかを検討した。2003年から2018年にかけて日本海西部のべ2,189地点での調査結果から、地点ごとのマダラの分布密度を調べたところ、面積あたりのマダラ採集重量は隠岐以西および能登半島西岸以北の海域で大きく、若狭湾付近では小さいことが明らかになった（図2）。この結果は日本海に2つの独立な集団が存在するという Suda *et al.* (2017) の指摘と整合する。

【ミトコンドリア DNA による遺伝解析】

生物集団間の境界を探索するには、高密度のサンプリングに基づく集団遺伝解析が有効と考えられる。そこで、2017年の5月から8月にかけて、着底トロール（石川県以西、但州丸）および大型桁網（新潟県以北、みずほ丸、日本海区水産研究所）を用いた調査を行うとともに、福井県、新潟県および石川県の漁業者の協力により、本州日本海沿岸の44定点においてマダラ184個体を採集した

（図1）。これらの標本からDNAを抽出、ミトコンドリアDNAの部分配列をPCRにより増幅したのち、1,015塩基対の塩基配列を決定した。また、データベースから得た7地点125個体分（図1、白丸に対応）の塩基配列を加え、計51点309配列のデータセットを作成した。

日本海における集団構造を視覚的に示すため、ベイズ統計に基づく遺伝解析を行った。遺伝子型



図3. 集団遺伝解析の結果

各サンプルの帰属を緑およびオレンジ色で、分布予測範囲を多角形（サンプリング地点に基づくボロノイ図）で、それぞれ示した。

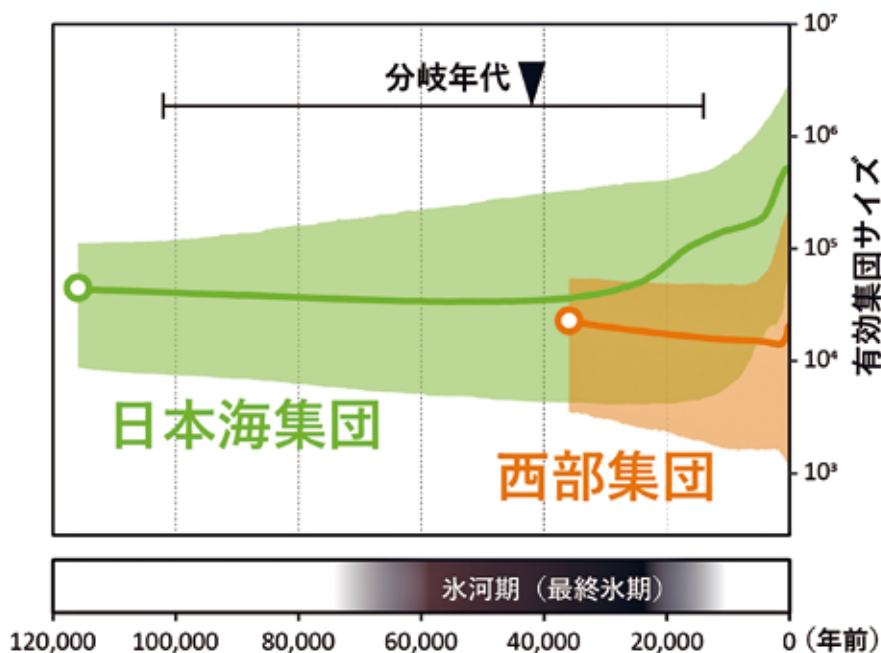


図4. 有効集団サイズの復元結果

日本海集団および西部集団の有効集団サイズについて、中央値を折れ線で、95% ベイズ信頼区間をリボンプロットで示した。また、集団の分岐年代および95% 信頼区間を三角と線分で示した。

の頻度に基づき、サンプリング地点のグルーピングを統計的に探索する「BAPS」という解析を行ったところ、日本海に2つの遺伝的集団が存在することが改めて確認された(図3)。また、日本海に広く見られる日本海集団と日本海西部のみ出現する西部集団が隠岐周辺を境に分布することが、分析の結果示された。また統計的解析から、2集団間に有意な遺伝的差異が認められることが確認された($p < 0.01$)。そこで、これらの集団が形成された過程を明らかにすべく、過去の集団動態をシミュレーションにより復元したところ、日本海集団は過去に大きく拡大したのに対し、西部集団では小さなサイズで維持されてきたことが示された(図4)。氷河期には水温の低下に伴い海洋の生産性が低下したことが指摘されており、日本海では更に貧酸素化によってマダラを含む海洋生物の集団サイズは縮小したと考えられている。多くの生物において、氷河期の終了(約1万年前)に伴って有効集団サイズの拡大が示されており、マダラの日本海集団も同様に増加したと考えられる。一方、西部集団は高水温や餌料環境等、何らかの理由で個体数増加に歯止めがかかったものと考えられる。また、日本海集団が氷河期後に集団

を拡大させたと仮定した場合、日本海集団と西部集団の分岐は約4万年前と推定された。従って、今回明らかになった集団構造が、ここ数十年間に形成された一過性のものであるという可能性は、極めて低いと考えられる。

【おわりに】

本研究の結果、日本海のマダラについて、系群設定の根拠となる資源の「切れ目」が明らかになった。分布調査から若狭湾付近で、集団遺伝解析から隠岐周辺から若狭湾にかけての海域で、それぞれ集団を区分できることが示された。これらの情報を踏まえ、両者が合致する若狭湾西側の山陰沖を系群の境界として提案することが妥当と考えられた。一方、今回の解析では、集団間の個体移動の頻度や、過去数十年間の個体群動態といった、直近の集団変動は明らかにできなかった。また、マダラには古くから沖合遊泳性の「沖だら」、定着性の強い「根だら」という、生活様式の異なる小集団(エコタイプ)に分けられるとの指摘があり、このような種内の多様性についても検討する必要がある。昨今、次世代シーケンサーを用いた大規模遺伝解析により、様々な魚種で、産卵場

単位の個体群構造が明らかにされつつある。今後、生態研究をさらに推し進めることで、マダラの資源構造の包括的な理解につなげたいと考えている。

なお、本報告は Sakuma *et al.* (投稿中) の内容を要約したものである。

【引用文献】

Suda A., Nagata N., Sato A., Narimatsu Y., Nadiatul H.H., Kawata M., 2017: Genetic variation and local differences in Pacific cod *Gadus macrocephalus* around Japan. J Fish Biol., 90, 61-79.

Sakuma K., Yoshikawa A., Goto T., Fujiwara K., Ueda Y: Delineating management units for Pacific cod (*Gadus macrocephalus*) in the Sea of Japan., Estuar Coast Shelf Sci., Submitted.

安定同位体比による日本海陸棚 海域における食物網構造の解析

木暮陽一（資源環境部・浅海環境グループ）



日本海における陸棚浅海域の水中と海底の生態系を総合的に解析するため、化学分析を活用して研究を進めています

【はじめに】

地球上における多様な生物は、それぞれが個体としての独立性を保つとともに、同種個体間や異種個体間で直接・間接的な相互作用を及ぼしながら生存している。また、周辺の非生物的環境との間で作用・反作用を繰り返し、生息環境から受ける制約に適応しつつ、ときには環境そのものを改変する能力を有している。このような、相互に密接な関係にある生物群集とその生息環境をひとくくりにして生態系と称する。

海産生物を育む生態系である海洋生態系は、さらに下位レベルの区分として漂流生態系と底生生態系に大別される。漂流生態系の生物群は、マグロやイワシのように水中を能動的に泳いで生活する遊泳生物（ネクトン）や、クラゲのように遊泳能力に乏しく、もっぱら流れに身をまかせ水中を漂う浮遊生物（プランクトン）から構成されている。一方、底生生態系の生物群は、生活史の大半を海底と密接に関係しながら送るカニやヒトデのような底生生物（ベントス）が主役である。

従来の海洋生態系研究は、漂流生態系と底生生態系のそれぞれで独自に発展を遂げてきた。対象生物の生物学的特性に大きな差異が認められ、調査手法も全く異なることを考慮すれば、これは自然な展開と言える。しかしながら、ベントスは一部の例外を除き、その餌料源を漂流生態系から運ばれる有機物に依存している。また、海底で分解された有機物は漂流生態系へ回帰して光合成を促

し、海洋の基礎生産を支えている。すなわち、海底と水中での生物活動を取りまく諸現象は本来、不可分の関係と言える。

そこで本研究では、日本海の陸棚浅海域において、漂流生態系と底生生態系の連関を探るため、当該海域の生態学的構造を包括的に把握することを目的とした。なお、解析には、後述する化学分析手法を活用した。

【生態系を化学分析で解析する】

生態系における生物のつながりを解明する上で、生物相互間における有機物の流れを把握することは重要である。このうち特に、餌となる生物（被食者）と餌を食べる生物（捕食者）との関係は、食物連鎖と呼ばれている。実際のフィールドでは捕食者が複数の被食者とつながってより複雑な構造を形成しており、一直線の鎖よりも網目をイメージして食物網と表現するのが適切である。

食物網の解析には、捕食者の摂餌行動を観察することや、捕食者の消化管内容物を分析することで研究が行われてきた。確かに直接的な観察は餌生物の特定に有効である。しかしながらこのような手法で抽出される結果は、観察時のいわばスナップショットであり、より長期間にわたりどのような被食-捕食関係が成立しているのかを検討するのには限界がある。

食物網の解析には20世紀後半から、直接観察に加え生物体に含まれる有機物元素に着目した間

接的な解析方法が活用され始めた。特に、被食-捕食関係を反映する炭素と窒素の安定同位体の挙動を対象とした解析方法は、炭素・窒素安定同位体比分析と称され、生態系の解析に広く用いられるようになってきている。本手法は、被食者を構成する有機物元素の影響が、捕食者を構成する有機物元素の値に比較的長いスパンで残存することを利用する。これにより、ある一定期間に捕食者に最も影響力の大きな餌料を推察することが可能となる。

安定同位体比分析では、生物体中に含まれる炭素と窒素の安定同位体の存在割合を分析し、炭素、窒素のそれぞれについて安定同位体比（存在割合の基準値からのずれ）という値を求め、解析を行う。炭素安定同位体比からは食物網の起点となる植物を中心とした餌料有機物の主要グループが、窒素安定同位体比からは対象生物の食物網における相対的な位置（栄養段階）が判別される。そこで、炭素と窒素の安定同位体比を座標軸とする2次元座標上に対象生物をプロットした炭素・窒素

安定同位体比マップを作成し、各種生物間の位置関係から食物網の解析を試みるのが炭素・窒素安定同位体比分析の骨子である。なお、有機物に含まれる安定同位体はごく微量であるため単位には千分率（‰）が用いられ、一般的には生物体の炭素安定同位体比はマイナスの値を、窒素安定同位体比はプラスの値を示す。また、これまでの様々な実験から、栄養段階が1段上昇すると、炭素安定同位体比は平均1‰前後、窒素安定同位体比は平均3.3‰程度上昇することが経験則として知られており、炭素・窒素安定同位体比マップ上のプロットは右肩上がりの分布様式を示すことが多い（図1）。ただし、安定同位体比は様々な要因で変化しうることから、マップの解釈については、実際の食性に関する知見等も併せて検討する必要がある。

【陸棚海域での解析結果】

調査は、2016年5月から6月に日本海区水産研究所所属のみずほ丸（156 t）により、陸棚海域の海底および水中の食物網を包括的に把握する

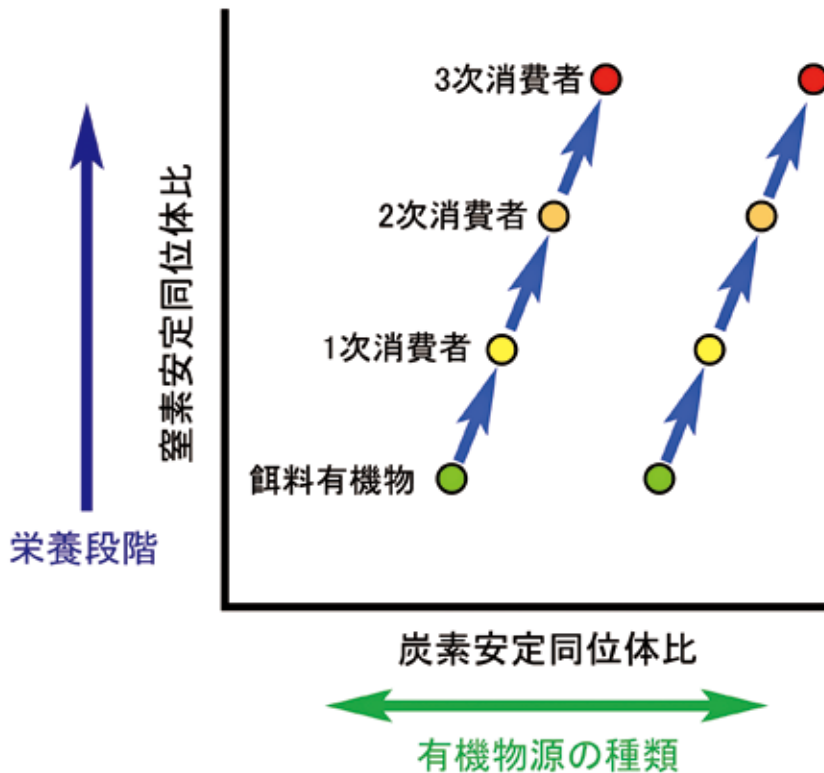


図1. 炭素・窒素安定同位体比マップの概念図

横軸の炭素安定同位体比は餌料有機物（主に植物由来の有機物）の種類により異なり、例えば、陸上有機物は海産有機物に比べより小さな値となる。また、縦軸の窒素安定同位体比は、高次の捕食者ほど高い値となる。

ことを目的に実施した。調査地点は能登半島西岸の水深 100m 前後の砂泥底である。本海域は、日本海沿岸に卓越する外海性砂浜域の沖合浅海部に相当し、日本海における代表的な沿岸環境の場とみなせる。採集したサンプルは、水中や海底の有機物粒子、サルパ類、尾虫類等各種優占プランクトンや、マヒトデ、甲殻類等大型ベントスであり、適切な分析前処理を施された後、質量分析計による炭素・窒素安定同位体比の測定に供された。

分析試料の解析結果を図 2 に示す。炭素・窒素安定同位体比マップ上に布置された分析試料のプロットは、栄養段階が上昇するにつれて右肩上がり分布しているのが見て取れる。

調査海域における (1) 海底堆積有機物ならびに (2) 水中懸濁有機物の炭素安定同位体比は、いずれも -22% 付近に位置している。この値は、中緯度温帯海域での植物プランクトンの平均的な値と合致しており、海域の餌料供給源は、 -28% 程度の軽い炭素が主体の陸由来ではなく、大半が海洋生産物由来であると考えられた。

このような餌料有機物を専食する動物群の窒素安定同位体比は、有機物の値よりも 3% 程度上位にプロットされる。調査海域においては、ゼラチン質のプランクトンである (3) トガリサルパ (尾索類) や (4) 尾虫類 (オタマボヤ類)、ベントスでは (8) ホオズキチヨウチン (腕足類) が主要分類

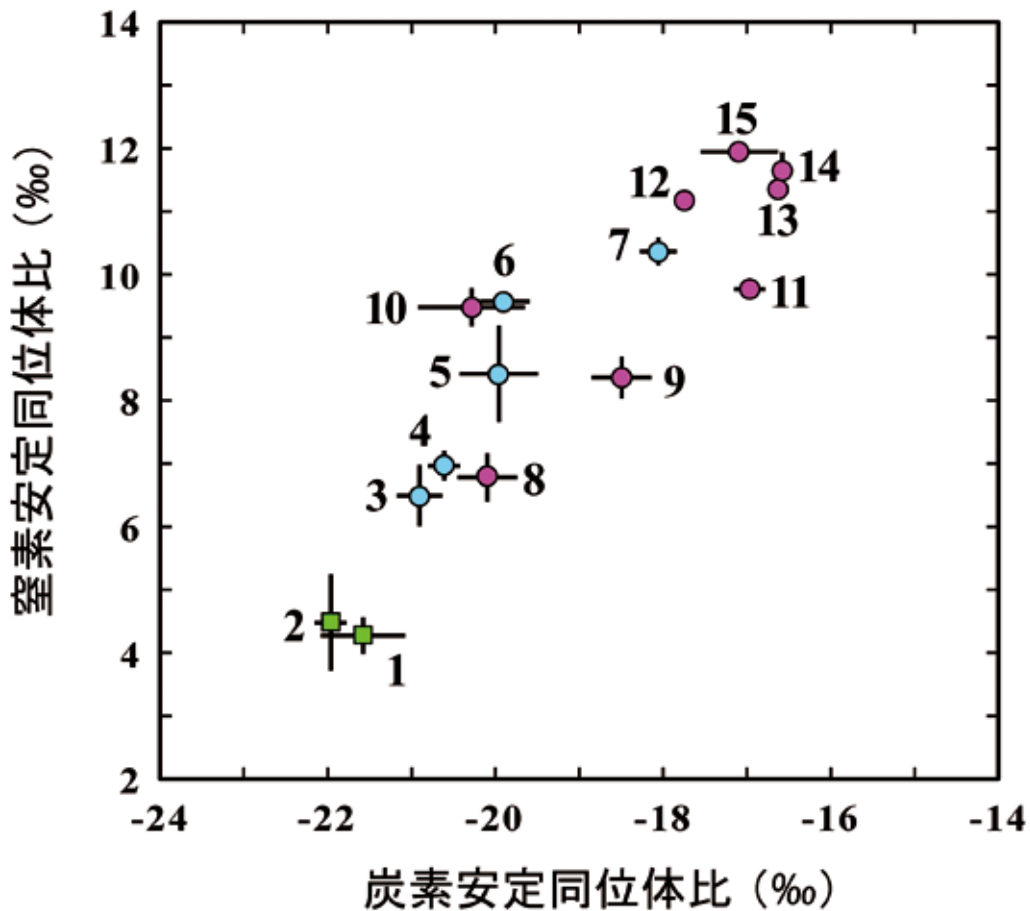


図 2. 能登半島西岸陸棚域における炭素・窒素安定同位体比マップ

炭素安定同位体比、窒素安定同位体比ともに平均値±標準偏差。炭素安定同位体比は有機物源の判別に用いられ、また、窒素安定同位体比は栄養段階とともに上昇する。

■有機物：1. 堆積物 (n = 9)、2. 懸濁物 (n = 4)； ●動物プランクトン：3. トガリサルパ (n = 23)、4. 尾虫類 (n = 7)、5. カイアシ類 (n = 8)、6. ニホンウミノミ (n = 5)、7. エンガンヤムシ (n = 16)； ●ベントス：8. ホオズキチヨウチン (n = 5)、9. ヨウラクガイ (n = 5)、10. ポウズウニ (n = 5)、11. ニホンコガネウロコムシ (n = 5)、12. イズミエビ (n = 5)、13. マヒトデ (n = 5)、14. ヨコスジヤドカリ (n = 5)、15. コシマガニ (n = 5)。分析動物群のうち、トガリサルパ、尾虫類、エンガンヤムシはゼラチン質プランクトン、ヨウラクガイは腐肉食性ベントスに分類される。

群として該当した。

さらに上位の捕食者、すなわち肉食性を有するグループは、(6)ニホンウミノミ（甲殻類）や(7)エンガンヤムシ（毛顎類）等の動物プランクトン、(10)ボウズウニ（棘皮類）や(11)ニホンコガネウロコムシ（多毛類）等のベントスが挙げられる。海域食物網の最上位に分布するのは、(12)イズミエビ・(14)ヨコスジヤドカリ・(15)コシマガニからなる大型甲殻類と(13)マヒトデ(棘皮類)であった。

以上のように、炭素・窒素安定同位体比マップから、海域の生物群が堆積・懸濁有機物を摂取する1次消費者から、より上位の2次、3次消費者により構成されることが示された。さらに詳細に検討すると、1次消費者と2次消費者の間に、(5)カイアシ類（甲殻類）と(9)ヨウラクガイ（巻貝類）が位置している。実際、カイアシ類には肉食性種と植物プランクトンを主体に摂餌する種が知られており、今回の分析ではサンプル中に両者が混在したため、中間的な値を示したと思われる。

一方、砂泥底や砂礫底に生息する巻貝類にはバイ類やヨウラクガイに代表される肉食性種が知られる（図3）。これらの種は海底へ沈降した動物の遺骸に群がる腐肉食性を示すとともに、ときにはフジツボやイガイ等固着性のベントスをも捕食する。本分析に供したヨウラクガイの窒素安定同位体比は、より下位の有機物源、具体的には腕足類やゼラチン質プランクトンが餌料となることを示唆している。しかしながら、砂泥底では付着基質を必要とする腕足類が多産することは考えにくく、肉食性貝類の餌料源として、沈降したゼラチン質プランクトンの寄与が大きいものと推察された。これは一部のベントスが漂流生態系の生物を底生生態系の食物網に積極的に取り込むことを示す結果である。



図3. ヨウラクガイの仲間（イセヨウラク）

日本海中部水深60mの砂礫底より得られた大型個体（殻高75mm）。2019年7月22日、水産大学校練習船天鷹丸（995t）を用いた調査で採集。

【おわりに】

本邦沿岸では、国の施策や社会的ニーズとして沿岸海域の持続的な利活用と環境保全がますます重要になっている。その出発点として、当該海域生態系の仕組みを解明することは必須であろう。本研究では日本海を代表する浅海砂泥底において、化学分析を用いて定量的な食物網構造を解析したが、今後もこのような調査・研究を積み重ねることで、生物生息場の構造実態が明瞭になると期待される。

また、近年、沿岸域では、サルバ類や尾虫類由来と考えられるゼラチン質プランクトンの沈降物が海底汚損物質となっており、漁業者から対策を求められている。本研究成果はこのような汚損沈降物の消滅過程におけるベントスの関与を検討する際の基礎的資料としても重要である。

無給餌期間がキジハタ畜養魚に与える影響

清水 健*・竹内宏行（資源生産部・資源増殖グループ）

*現 増養殖研究所 ウナギ種苗量産研究センター・量産実証グループ



キジハタ天然魚の短期畜養を想定し、一定の無給餌期間を設け、その後に給餌を実施した場合の摂餌状況と体重変化を比較しました

【はじめに】

キジハタ *Epinephelus akaara* は、アコウとも呼ばれ、大型魚は高級魚として珍重される。日本海中部海域では近年漁獲量が増加傾向にあるが、秋季に定置網等で集中して漁獲される小型魚は、比較的安価で取り扱われる。そのためこれらを一定期間畜養し、漁獲の少ない時期に流通させることができれば、収益構造の改善に繋がることが期待される。そこで本研究では市場での出荷調整への適用を明らかにする目的で、短期間の畜養を想定し、無給餌期間の長短が畜養魚に与える影響についての比較飼育試験を秋季の水温下降期と春季の水温上昇期にそれぞれ実施した。

【無給餌期間の検討・水温下降期試験】

若狭湾西部の小型定置網により漁獲されたキジハタ天然魚（全長 26.0～31.8cm、体重 302～552g）を 1kℓ 水槽 5 槽に極力魚体の大きさに偏りが無いように各 10 尾ずつ収容して、0, 2, 3, 4, 5 週間の無給餌期間を設けた飼育試験を実施した（図 1）。

飼育期間は 9 月 19 日～12 月 5 日の間で、水温は 22.4～16.9℃で推移したが、各試験区とも 20℃を下回ると摂餌率の低下傾向が見られた（図 2）。

供試魚への配合餌料の給餌開始後、摂餌開始までの所要日数は、無給餌 0 週間区（図 2 の中の 1 区・以下同様）で 10 日目、2 週間区（2 区）は 1 日目

試験回	試験区	0	1週	2週	3週	4週	5週	6週	7週	8週	9週	10週	11週
水温下降期試験	1区	無給餌	無給餌	無給餌	無給餌	無給餌	無給餌	無給餌	無給餌	無給餌	無給餌	無給餌	無給餌
	2区	無給餌	給餌	給餌	給餌	給餌	給餌	給餌	給餌	給餌	給餌	給餌	給餌
	3区	無給餌	給餌	給餌	給餌	給餌	給餌	給餌	給餌	給餌	給餌	給餌	給餌
	4区	無給餌	給餌	給餌	給餌	給餌	給餌	給餌	給餌	給餌	給餌	給餌	給餌
	5区	無給餌	給餌	給餌	給餌	給餌	給餌	給餌	給餌	給餌	給餌	給餌	給餌
水温上昇期試験	1区	無給餌	無給餌	無給餌	無給餌	無給餌	無給餌	無給餌	無給餌	無給餌	無給餌	無給餌	無給餌
	2区	無給餌	給餌	給餌	給餌	給餌	給餌	給餌	給餌	給餌	給餌	給餌	給餌
	3区	無給餌	給餌	給餌	給餌	給餌	給餌	給餌	給餌	給餌	給餌	給餌	給餌
	4区	無給餌	給餌	給餌	給餌	給餌	給餌	給餌	給餌	給餌	給餌	給餌	給餌
	5区	無給餌	給餌	給餌	給餌	給餌	給餌	給餌	給餌	給餌	給餌	給餌	給餌

無給餌期間
 水温下降期試験給餌期間
 水温上昇期試験給餌期間

図 1. 試験区別の無給餌期間と給餌期間

試験区ごとに無給餌期間を 1 週間ずつ増やして、全区給餌開始後も 5 週間以上の飼育を実施した。

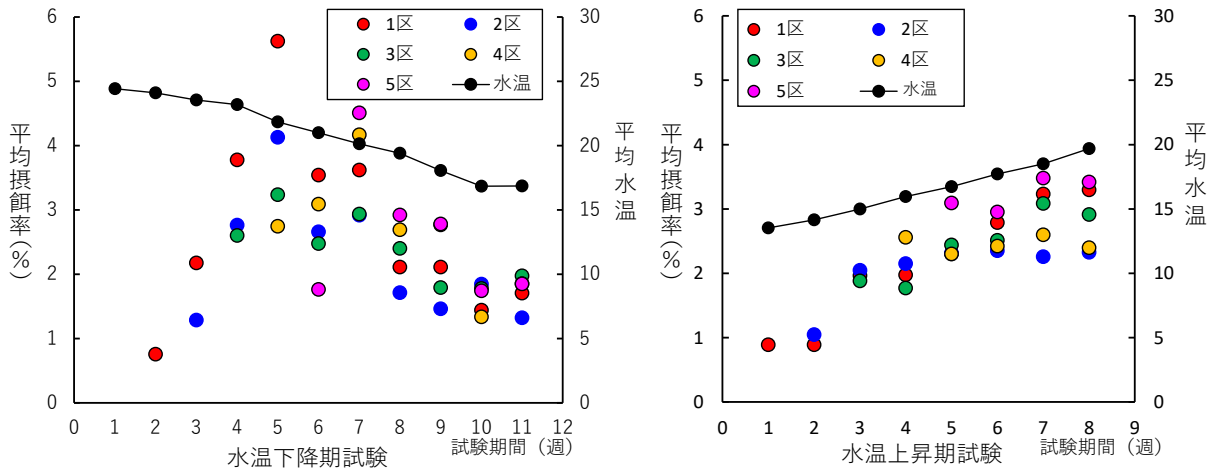


図2. 飼育期間中の平均摂餌率と水温の推移
 平均摂餌率：(区の週間の摂餌量 / 区の収容尾数) / 区の平均体重 × 100

であったが、ともに摂餌率（魚体重あたりの摂餌量）が安定するまでおよそ3週間を要した。一方、3～5週間区（3～5区）は給餌開始直後から高い摂餌率を示した（図2）。

収容時を100とした体重の相対値では、無給餌0～2週間区（1・2区）で98、3～4週間区（3・4区）で95まで減少したが、いずれも給餌開始後2～3週目で収容時の値を上回るまで上昇し、以後105～110で推移した。しかし無給餌5週間区では90まで減少し、給餌開始6週間後（試験開始後11週目）でも収容時の値を下回り、他の区に比べ体重の回復が遅れる傾向が見られた（図3の左図）。このような傾向は肥満度の相対値でも同様に見られた。

無給餌期間別の体重増減率を比較すると、試験

開始時に対して、無給餌が2週間の区（2区）では体重に差が認められなかったが、無給餌が3週間以上の区（3～5区）では体重の減少が顕著に認められた（図4-1の左図）。また、試験開始時と給餌開始2週間後の体重を比較すると、無給餌0～4週間区（1～4区）は速やかな回復を示したが、無給餌5週間区（5区）では回復が遅れる傾向が見られた（図4-1の右図）。

【無給餌期間の検討・水温上昇期試験】

8カ月間育成した天然魚（全長26.3～31.2cm、体重309～518g）を、水温下降期試験同様に1kℓ水槽に各10尾収容して、0、1、2、3、4週間の無給餌期間を設けた飼育試験を8週間実施した（図1）。

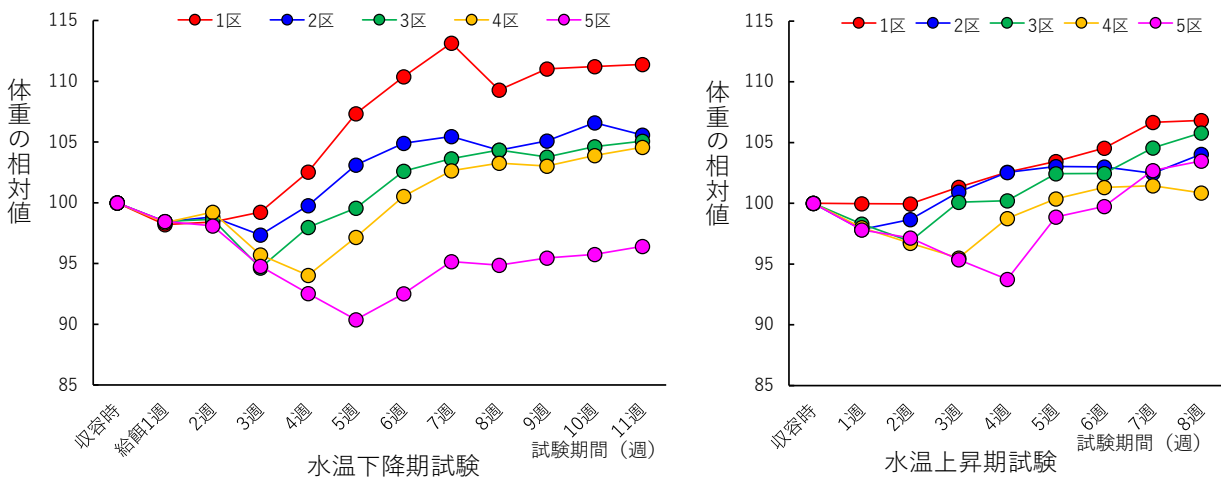


図3. 体重の相対値の推移
 試験区ごとに平均体重を計算し、試験開始時の平均体重を100とした際の週ごとの体重の相対値を図示した。

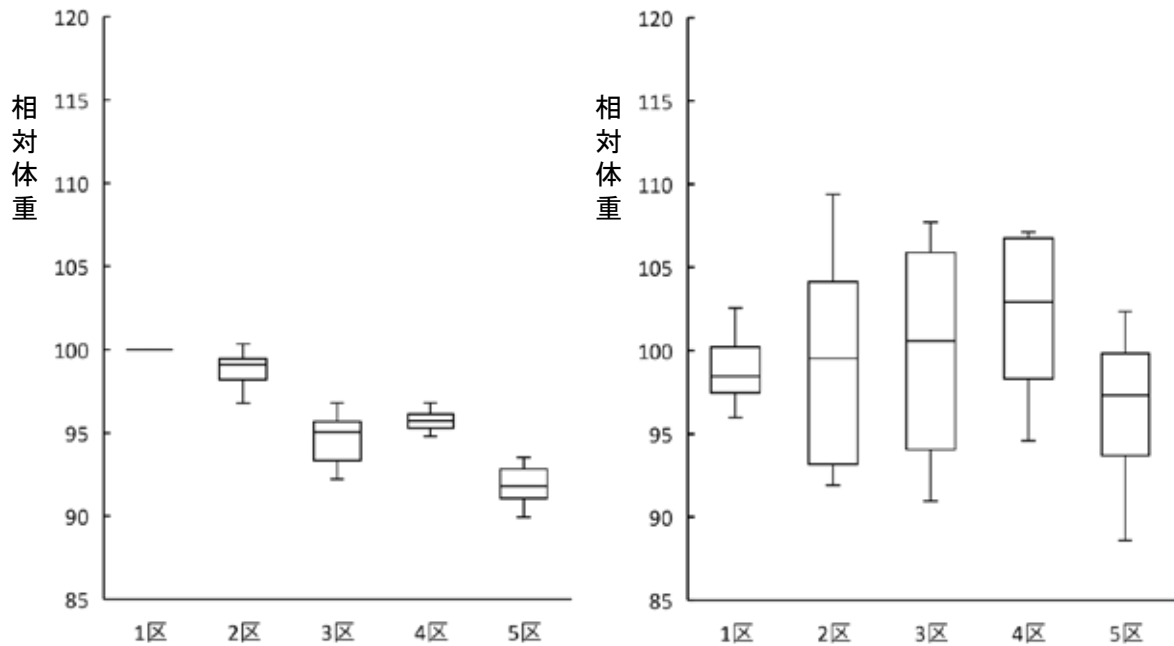


図 4-1. 水温下降期の相対体重の推移

水温下降期試験における試験開始時の体重を 100 とした無給餌期間後（給餌開始時）の相対体重（左）と給餌開始 2 週間後の相対体重（右）を示した。

飼育期間は 4 月 10 日～ 6 月 6 日で水温は 13.2～20.4℃と上昇した。また、摂餌は、各区給餌開始日から確認された。摂餌率は、15℃以下では給餌実施区（1～2 区）でも 1%前後であったが、19℃を越えた 7 週目には各区とも 2.3～3.4%に増加した（図 2）。

収容時を 100 とした体重の相対値は、無給餌 2～3 週間区（3～4 区）で 96～97、4 週間区（5 区）で 93 までの低下に留まり、いずれも給餌後 1～2 週間で収容時の値まで回復した（図 3 の右図）。

無給餌期間後の相対体重では、無給餌期間が長いほど体重が減少する傾向が見られた（図 4-2 の

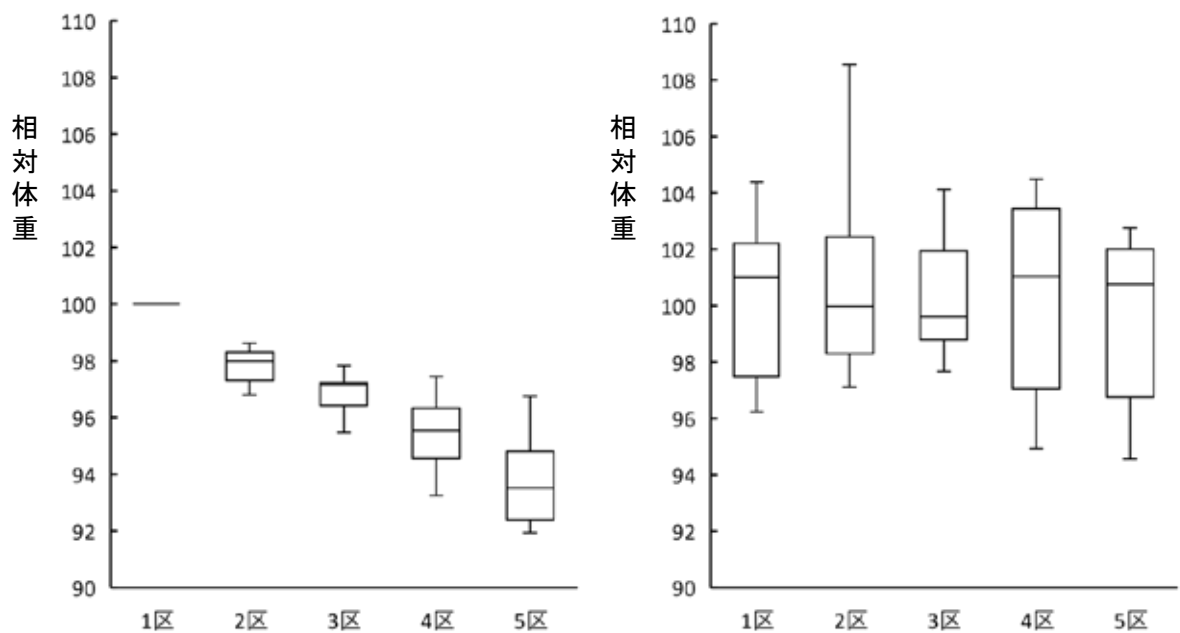


図 4-2. 水温上昇期の相対体重の推移

水温上昇期試験における試験開始時の体重を 100 とした無給餌期間後（給餌開始時）の相対体重（左）と給餌開始 2 週間後の相対体重（右）を示した。

左図)。給餌開始2週間後では水温下降期と異なりいずれの区も速やかな回復を示した。そのため、無給餌期間別の体重増減率を給餌開始2週間の時点で比較すると、各試験区間で差は認められなかった(図4-2の右図)。

【成果の活用について】

今回の結果では、水温下降期試験が漁獲直後の天然魚、水温上昇期試験が天然魚を8カ月養成した魚という違いがあり、一概に比較はできないが、天然魚の畜養を行う場合、水温下降期および水温上昇期のいずれも2週間程度の無給餌期間であれば体重の減少による商品価値の低下等は生じないことが推定できた。また、収容後3週間までは給餌しても摂餌が安定しないことから、3週間以内の短期間畜養の場合は無給餌とし、それ以上の長

期畜養の場合は給餌による品質の保持あるいは増重量を目指し、給餌飼育を検討すべきと判断された。

また、無給餌の期間が4週間程度に及んだ場合でも、給餌を再開すれば比較的早期に体重が回復するが、摂餌率や体重の増加率は、水温下降期試験では20℃を下回ると鈍化する傾向が見られ、水温上昇期試験では、水温が15℃を上回ると増加する傾向を示した。一方、水温の影響は基礎代謝に大きく関わるのが推察されるので、無給餌飼育が可能な期間については高水温では減少することが予測される。従って、実際の現場では、小型魚が多獲され水温が下降傾向にある秋季では、比較的長期の無給餌での出荷調整の可能性について、逆に昇温期である春季においては積極的な給餌を促す蓄養方法を考慮すべきと推定された。

2018年度本州日本海側河川に 回帰したサケの小型化

飯田真也（資源管理部・沿岸資源グループ）



2018年度に回帰したサケの小型化の実態を把握するため、資源全体の年齢組成・体サイズの経年変化を調べ、小型サケの精密魚体測定を行いました

【はじめに】

サケ *Oncorhynchus keta* は海で数年間過ごして成長し、主に3～5年魚で成熟して自らが産まれた河川へ回帰します。成熟した個体の平均的な尾叉長は65～75cm、体重は3～5kgとなります。サケは新巻きやイクラ丼の原料となるなど、我々にとって大変馴染み深い水産重要種です。しかし、日本のサケ漁獲数は近年顕著な減少傾向を示しており、2018年度では2.9千万尾とピーク時（1996年度、8.9千万尾）の3割に留まっています。また、

2018年度の本州日本海側河川では回帰したサケのサイズが総じて小さく、尾叉長50cm程度と平均サイズに対して極端に小型なサケ（図1、以下小型サケと記載）も多く出現して注目を集めました。著者は当地域におけるサケの資源状況を把握するため、本州日本海側を代表する6河川について体サイズおよび年齢組成の経年変化を調べました。また、小型サケの特徴をよく理解するため、2018年度に当地域の河川に回帰した小型サケについて精密魚体測定を行いました。

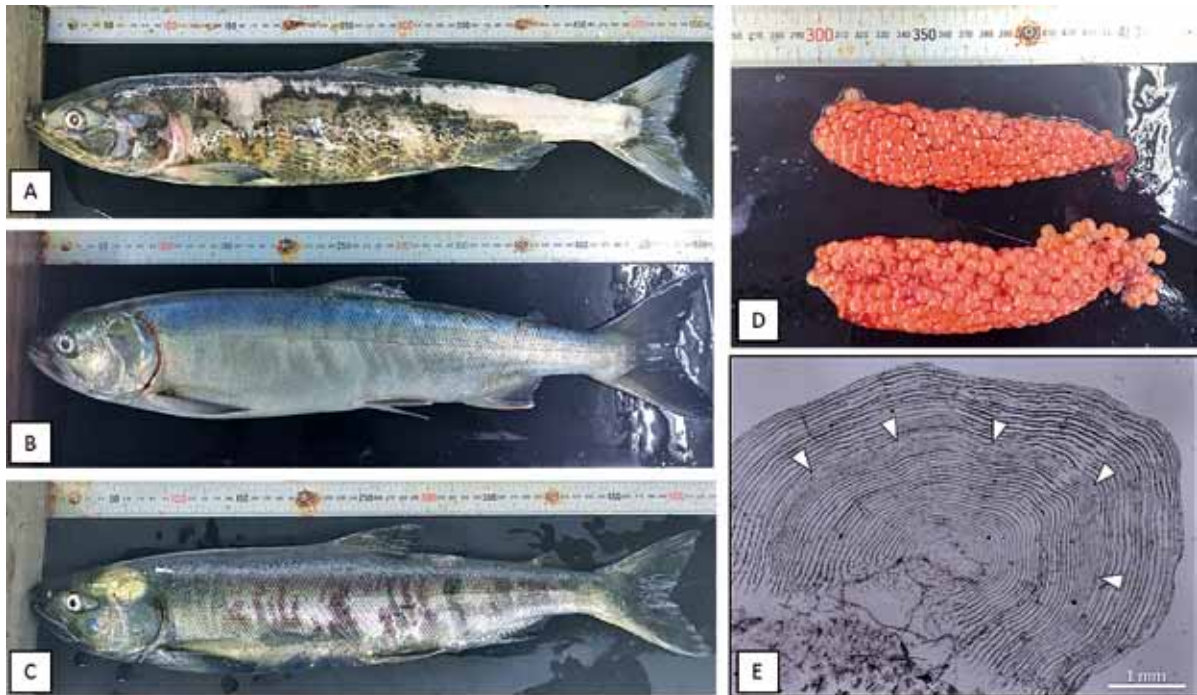


図1. 2018年度本州日本海側河川で捕獲した小型サケ（表1）の写真

A：尾叉長（FL）51.6 cm 雄4年魚（No.14）、B：FL52.1 cm 雌3年魚（No.10）、C：FL50.5 cm 雄2年魚（No. 6）、D：No.10の卵巣、E：雌2年魚（No. 2）の鱗、白三角は冬季の成長停滞期に形成される年輪を示す。



図2. 本州日本海側においてサケの年齢と体サイズを調査する6河川

【体サイズと年齢組成】

当機構では1997年度より本州日本海側6河川(図2)においてサケの体サイズと年齢に関するモニタリング調査を行っています。

(当水産研究所 HP、<http://jsnfri.fra.affrc.go.jp/kenkyu/index.html#sake>)。この調査結果によると、サケの平均尾叉長は2005年度以降、変動を繰り返しながら概ね横ばいに推移してきましたが、2018年度には全年齢・雌雄ともに前年に比べて大きく減少し、4年魚と5年魚に関しては最低値を示しました(図3)。

捕獲数全体に占める若齢魚(2~3年魚)の割合に着目すると、2018年度の2年魚は0.2%~5.5%であり、過去19年間(1997~2017年度)の中央値(0.5%~4.4%)と概ね一致しました(図4)。一方、

2018年度の3年魚は2.8%~12.4%であり、全河川で中央値(13.1%~25.7%)に比べて低い値を示しました(図4)。2018年度の年齢組成の特徴として、3年魚の割合が平年に比べて非常に低く、4~5年魚が主体であったと言えます。

以上を踏まえると、2018年度の本州日本海側河川に回帰したサケが総じて小さかったのは、若齢魚が多く回帰したからではなく、3~5年魚が急激に小型化したためと考えられました。

【小型サケの精密魚体測定】

新潟県三面川と富山県庄川(図2)に回帰した小型サケを15尾入手し、中坊(2000)に従って外部形態および生殖腺重量を計測しました。また、鱗相による年齢査定を行いました(表1)。尾叉長および体重はそれぞれ48.1~56.1 cm、1.04~1.59 kg(内臓除去後体重の個体を除く)の範囲にあり、それらは全て成熟していました。サンプルの大半は2~3年魚でしたが、4年魚も2尾いました(No.14, 15)。雄4年魚の一般的な尾叉長は約70 cmであり、No.14, 15のサイズは同年齢の平均に比べて約7割しかありませんでした。一般にサケの雄は雌に比べて早熟であり、成熟した2年魚の大半は雄と考えられてきましたが(落合・田中1998)、雌の2年魚が2尾いました(No. 1, 2)。また、成熟した雄サケは顎が伸長するとともに先端部が鈎状にまがり、歯が犬歯のように発達するため、外見から雌雄を容易に判別出来ます。本サンプルについても、尾叉長に対する上顎長の比は

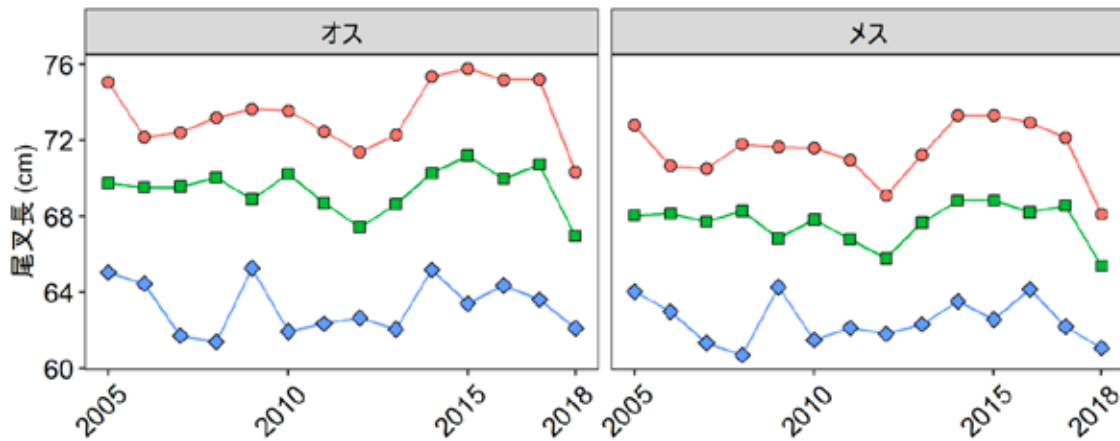


図3. 本州日本海側6河川(図2)に回帰したサケの平均尾叉長

赤: 5年魚、緑: 4年魚、青: 3年魚。

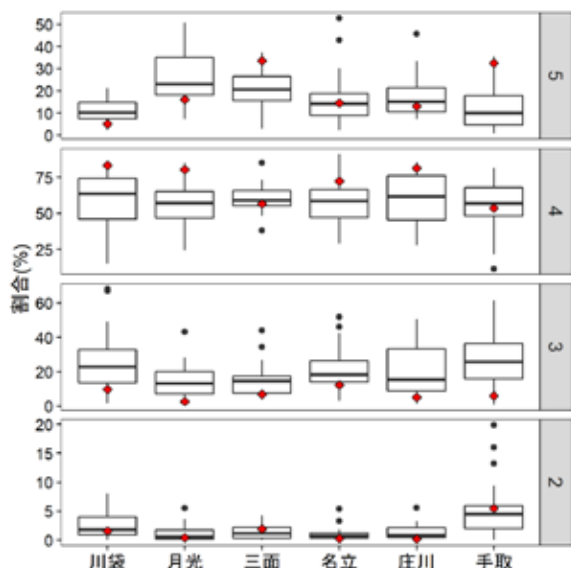


図4. 本州日本海側6河川(図2)における総捕獲数に対する2~5年魚の割合(1997~2018年度)

太い横線が中央値、箱の上線と下線がそれぞれ第3四分位点と第1四分位点、ひげは四分位範囲の1.5倍に収まる最も離れた値、黒丸は外れ値、赤い菱形は2018年度の値を示す。

雌に比べて雄の方が有意に高い値を示したものの(Generalized least squares model, $F = 59.6$, $P < 0.001$, 図5)、上顎の発達が不十分で外見による性別判定が困難な雄もいました。成熟したサケの一般的な体高は20~25cmであり(眞山 2004)、平均尾叉長(70cm)に対する体高比は0.29~0.36となります。本サンプルはその比が0.16~0.20の

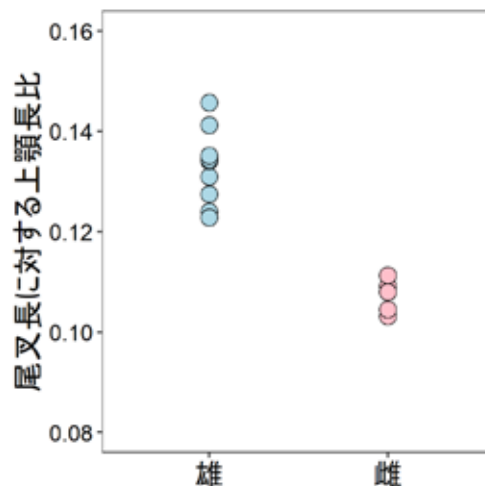


図5. 小型サケ(表1)の尾叉長に対する上顎長の比範囲にあり、標準的な個体に比べて細長い体型でした。

生殖腺を入手出来た雌サケ2尾(No. 2, 10)については、60個の卵を無作為抽出し、湿重量を計量しました(図6)。卵単重の平均はそれぞれ0.16g、0.17gであり、三面川サケの平均卵単重(0.23g、日本海区水産研究所、未発表データ)の7割程度と非常に小さな卵でした。また、平均卵単重で生殖腺重量を除いて孕卵数(ようらんすう:体内にある卵数)を求めたところ、No. 2の孕卵数は1573粒、No.10のそれは746粒と推定され、これらは三面川サケの平均的な孕卵数(3000粒、日

表1. 2018年度新潟県三面川および富山県庄川で捕獲されたサケの外部形態と年齢

No.	月日	場所	性別	年齢	全長(mm)	標準体長(mm)	尾叉長(mm)	体高(mm)	体幅(mm)	頭長(mm)	吻長(mm)	上顎長(mm)	体重(g)	生殖腺(g)
1	11/5	三面	♀	2	546	485	512	93.9	49.4	110.6	33.4	55.9	1136.2	NA
2	11/21	三面	♀	2	551	453	481	96.9	59.6	100.3	28.4	49.6	1206.0	245.5
3	11/12	庄川	♂	2	532	475	500	102.3	48.0	124.8	42.0	72.9	1343.3	66.6
4	11/10	庄川	♂	2	561	499	526	91.5	48.0	119.8	43.8	70.7	1272.5	29.7
5	10/31	庄川	♂	2	NA	NA	490	NA	NA	NA	NA	NA	1350.0	NA
6	11/21	三面	♂	2	542	476	505	95.7	45.8	117.1	34.6	62.6	1174.6	60.1
7	11/5	三面	♂	2	556	457	491	92.1	43.8	112.9	36.3	64.3	1042.9	49.3
8	11/13	庄川	♀	3	598	530	558	92.0	48.6	116.1	32.5	60.3	1278.5	NA
9	11/13	庄川	♀	3	612	532	561	90.9	41.3	119.9	29.6	58.7	982.9	NA
10	11/21	三面	♀	3	553	487	521	98.9	53.4	110.0	35.8	58.0	1423.7	123.9
11	11/19	庄川	♂	3	520	463	497	99.0	43.8	117.1	42.6	70.2	1151.6	NA
12	12/5	庄川	♂	3	582	510	536	89.0	44.6	119.3	35.5	65.8	1227.4	53.7
13	12/5	庄川	♂	3	586	504	543	101.4	53.4	126.2	43.6	72.8	1588.9	87.2
14	11/12	庄川	♂	4	559	494	516	90.1	43.6	115.3	35.7	65.8	1109.0	38.1
15	11/9	庄川	♂	4	572	498	533	97.4	50.8	131.5	37.3	72.1	1439.7	46.0

* NAは未計測であることを示し、No. 1、8、9は内臓除去後の体重を計測した。

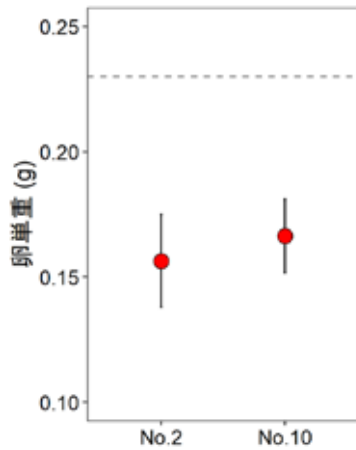


図6. 小型サケ（表1：No. 2、10）の卵単重の平均（赤丸）と95%信頼区間（黒線）
点線は三面川における平均値（日本海区水産研究所、未発表データ）を示す。

本海区水産研究所、未発表データ）に比べて少ないものでした。

【おわりに】

成熟したサケの体サイズは生息密度や環境変化に影響を受けることが指摘されてきましたが（例えば、Ishida *et al.* 1993）、2018年度に回帰した3～5年魚の小型化の要因は分かっていません。2018年度に回帰したサケに関して、北海道 (<http://salmon.fra.affrc.go.jp/zousyoku/salmon/salmon.html>) やアラスカ (Alaska Department of Fish and Game、Dion Oxman 私信) でも同様に小型が多かったことが確認されており、サケの小型化は広域的に生じていたと推察されます。2018年度に回帰した4、5年魚は2014、2013年級群です。それらは2017年度に3、4年魚として回帰していますが、顕著な小型化傾向は認められません（図3）。そのうえで、2018年度に回帰した2014、2013年級群が一貫して小型化したということは、両者が共通して経験した成熟1年前（2017年秋～2018年秋）の成長が良くなかった可能性が考えられます。

体サイズが小さい場合、平均単価は低下する傾向にあり、漁獲高に影響を及ぼします。また、一般に1尾あたりの孕卵数が少ないため（Rounsefell 1957）、計画した採卵数を達成することが困難になるなど、増殖事業に不測の事態が生じる可能性もあります。本年秋に回帰するサケの体サイズを現時点で予測することは叶いませんが、その動向に注視する必要があると考えます。

【謝辞】

新潟県三面川鮭産漁業協同組合並びに富山県庄川沿岸漁業協同組合連合会より小型サケ標本を提供いただきました。また、両漁協の佐藤貴弘氏、榎本英樹氏、池田明雄氏、高木秀一氏よりサケの捕獲状況について有益な情報をいただきました。ここに記して深く感謝申し上げます。

【引用文献】

- Ishida Y., Ito S., Kaeriyama M., McKinnell S., Nagasawa K., 1993: Recent changes in age and size of chum salmon (*Oncorhynchus keta*) in the North Pacific Ocean and possible causes, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 50, 290-295.
- 眞山 紘, 2004: さけ・ます類の河川遡上生態と魚道, さけ・ます資源管理センターニュース, 13, 1-7.
- 中坊徹次, 2000: 日本産 魚類検索 全種の同定 第二版 I, 東海大学出版会, 東京.
- 落合 明, 田中 克, 1998: 36. サケ・マス類, 「新版魚類学 (下) 改訂版」(落合 明, 田中 克), 恒星社厚生閣, 東京, pp. 402-464.
- Rounsefell, G.A., 1957: Fecundity of North American Salmonidae, *Fishery Bulletin*, 122, 451-468.

発 行：国立研究開発法人水産研究・教育機構

編 集：国立研究開発法人水産研究・教育機構 日本海区水産研究所
〒951-8121 新潟市中央区水道町1-5939-22
電話：025-228-0451（代） FAX：025-224-0950
<http://jsnfri.fra.affrc.go.jp/>