

富山の沿岸海域から深海域まで～環境指標生物種から探る持続的な資源利用～
吉田 光佑、勝田 裕大、武井 柚佳（富山大学 理学部 生物圏環境科学科）

1. はじめに

日本三大深海湾の一つである富山湾は、大陸棚の幅が狭く、沖に向かって急激に深くなる海底地形を持つことから、日本海を流れる対馬暖流水及び日本海固有水が沿岸付近まで流入する水塊構造を有する内湾である。一方、陸域には、海岸からほど近い位置に 3000m級の山岳地帯が存在し、降水量も多いことから、山岳地帯から降雨由来の陸水が河川水や海底湧水として多量に富山湾に流れ込んできている。このため、富山湾の沿岸域には多様な水塊構造が存在しており、日本海に生息する約 800 種の魚類のうち約 500 種が記録されている。これらのことから、多様な水塊構造に多種多様な海洋生物が生息している富山湾は日本海の縮図とみなせる。近年、日本海は地球温暖化による水温上昇が他の日本近辺の海域に比べて著しく高いという報告があり（気象庁）、地球温暖化の影響をモニタリングするにあたり富山湾は格好の研究海域であると言える。

本研究室は、沿岸域に生息するイガイ類や、日本海沖合に生息し富山湾沿岸で産卵するホタルイカを対象に、環境指標種としての有効性の検討などの研究を行ってきた。本研究では、沿岸域の代表としてイガイ類、日本海・富山湾の代表としてホタルイカを用いて現在の富山湾の環境を把握し、新たに深海底に生息するベニズワイガニの環境指標種としての有効性を検討することで、富山湾における持続的な資源利用に関する知見の収集を目的とした。

本研究では分析手法として炭素・窒素安定同位体比解析を用いた。炭素安定同位体比と窒素安定同位体比は、それぞれ ^{12}C と ^{13}C 、 ^{14}N と ^{15}N の存在比を表している。自然界での安定同位体比の変動はわずかな変化であり、国際標準物質の安定同位体比に対する千分率偏差（‰:パーミル）で表す。また、生物の体を構成する炭素や窒素の安定同位体比は、「食う－食われる」の関係において、規則性があることが知られており、食物網の解析によく用いられている。炭素安定同位体比は栄養段階の上昇に伴い、約 1‰程度の僅かな上昇であることから餌源の推定に用いられており、窒素安定同位体比は栄養段階の上昇に伴い、約 3.4‰も上昇することから栄養段階の推定に用いられている（Minagawa and Wada,1984 ; DeNiro and Epstein,1978）。炭素・窒素安定同位体比解析は、一定期間に採餌した餌の情報から分かることから、生態系における基礎生産から高次消費者までの食物網や、炭素及び窒素の物質循環の流れを解明する手法として用いられている。

2. 試料及び分析について

・沿岸域

イガイ類は、富山湾沿岸で 26 地点、その他に日本各地の沿岸の 7 地点で採集した。

・ホタルイカ

ホタルイカは富山県富山市四方にて水揚げされたホタルイカと兵庫県浜坂町にて水揚げされたホタルイカを用いた。採取期間は富山市四方の試料は 3 月中旬から 6 月中旬まで、浜坂町の試料は 4 月下旬から 5 月上旬までである。また、外套長の測定も行った。

・底生生物

ベニズワイガニは久栄丸（新湊漁業協同組合）と栄進丸（魚津漁業協同組合）が漁獲した個体を用いた。また、同時に水揚されたヒトデ類、イソギンチャク類、腹足類、オオグチボヤも試料とした。採取は 2019 年 3、4、11、12 月に実施した。

・動物プランクトン

入善海洋深層水活用施設にて採取を行った。採取期間は 2019 年 2 月から 2020 年 1 月である。また、長崎大学水産学部附属練習船「長崎丸」に乗船し、日本海の数地点において、ガマロ式プランクトンネット（網目 100 μ m）を用いて水深 0~1000m の動物プランクトンの採取を行った。採取期間は 2019 年 5、10 月である。

・懸濁態有機物（POM）

氷見から入善に至るまでの富山湾沿岸 8 地点及び富山県の 5 大河川にて採取を行った。採取期間は 2019 年 7、11 月である。また、長崎大学水産学部附属練習船「長崎丸」に乗船し、日本海の数地点においても採取を行った。採取期間は 2019 年 10 月である。測定した炭素・窒素安定同位体比は一般的な植物プランクトンの値と近似していたことから、POM の測定値を植物プランクトンの代表値として扱った。

・付着藻類

富山県魚津市大町海岸において、鉛直的に付着藻類を採取する目的で開発をした装置を用いて採集を行った。採取期間は 2019 年 8 月である。

・試料の測定及び前処理

生物試料は凍結乾燥後、クロロホルム：メタノール（2:1）混合溶液を用いて脱脂を行った。また動物プランクトン試料は種類ごとにソーティングし、凍結乾燥後、1N HCl にて脱炭酸し、クロロホルム：メタノール（2:1）混合溶液を用いて脱脂を行った。作成した試料は総合地球環境学研究所において、元素分析・同位体比質量分析計を用いて炭素・窒素安定同位体比の測定を行った。（測定精度： $\delta^{13}\text{C}$: $\pm 0.03\text{‰}$, $\delta^{15}\text{N}$: $\pm 0.2\text{‰}$ ）

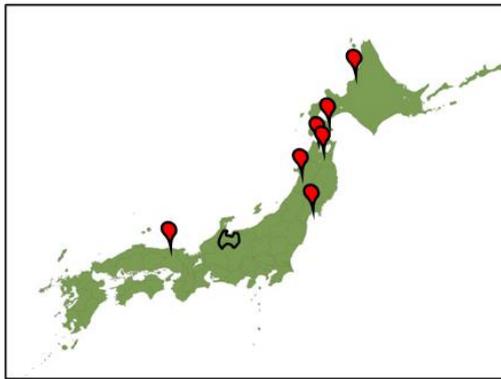


図 1.日本各地におけるイガイ類の採取地点

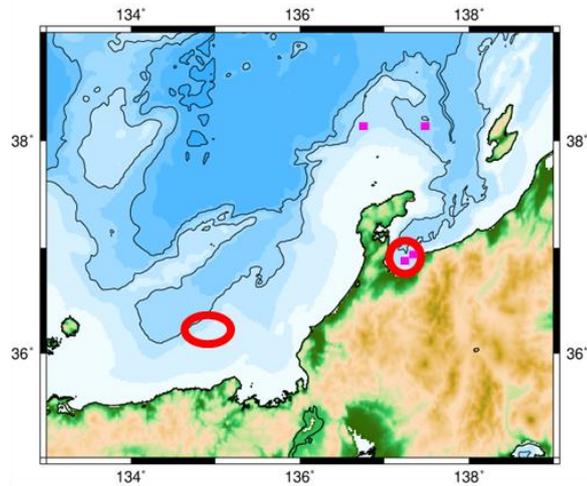


図 2.ホタルイカ(赤枠内で漁獲)および底生生物(四角プロット)採取地点

3. 結果と考察

・イガイ類

採取を行った富山湾沿岸 26 地点の中で大町海岸の試料の炭素・窒素安定同位体比測定結果に着目すると、「イガイ類は付着藻類、懸濁態有機物や表層堆積物などを生息地ごとに異なる割合で採餌していること」と、「すべての生息地において植物プランクトンと付着藻類が餌の大部分を占めていること」が明らかとなった。また、イガイ類は主に多様な植物性の餌を食べるが、一方で肉食性巻貝に食べられるという食物網が沿岸域に成り立っていることが示された。さらに、イガイ類が採餌している餌の炭素安定同位体比の値のばらつきが非常に大きいものに対し、それらを摂餌しているイガイ類の炭素安定同位体比の値のばらつきが小さいことからイガイ類は沿岸域の環境指標種として有用であることが示唆された。

富山湾内 26 地点におけるイガイ類の窒素安定同位体比は、富山湾西部で高く、富山湾東部で低かった。これは、河川勾配が大きいほど河川中に含まれる硝酸の窒素安定同位体比の値は低く（佐藤卒論,2003;佐野修論,2011）、河川と沿岸海域に存在する硝酸の窒素安定同位体比の値は殆ど同様であり（浦沢ら,2016）、富山湾東部は河川勾配が大きい山岳地帯、西部は河川勾配が小さい平野部であることから地形・土地利用を反映したためである（桶川,2017）という報告と同様の結果であった。

またイガイ類の炭素安定同位体比は、富山湾奥部で高く、富山湾口部で低かった。本研究の結果よりイガイ類の餌の大部分は植物プランクトンと付着藻類であることから餌の寄与率を算出したところ、イガイ類は湾奥部では付着藻類を多く摂食し、湾口部では植物プランクトンを多く摂食していることが明らかになった。また、これらの摂食割合の変化は、富山湾沿岸部の海流の流路と強さを反映していると推測された。

日本各地で採集されたイガイ類と富山湾内で採集されたイガイ類の炭素・窒素安定

同位体比を比較すると、炭素安定同位体比の結果では日本各地と富山湾内で差異は認められなかった。一方、窒素安定同位体比の結果では富山湾のイガイ類は殆どの採取地点で6‰未満であったのに対し、日本各地で採集されたイガイ類は全ての採取地点で6‰以上と、富山湾のイガイ類は日本各地のイガイ類と比較して明瞭に低い値を示した。このことから、富山湾の沿岸域は陸水の影響を顕著に受けており、イガイ類はその影響を反映していることが明らかとなった。

・ホタルイカ

外套長測定の結果、大型個体（外套長 60mm 以上の個体）は富山県では全体の 17% 存在していた。一方、兵庫県では確認できなかった。これは山崎（2011）の富山県では全体の 40%、兵庫県では皆無という結果と同様であったが、富山県では大型個体の存在割合が減少していた。これについて、一般的なイカ類では卵から孵化する際の海水温が高ければ、孵化した個体の大きさは小さくなる（Vidal *et al.*,2002）、また、イカ類の成長は指数関数的であるため、孵化した個体の大きさが小さければ成体の大きさも小さくなる（Pecl and Jackson,2008）という報告がある。このことから、2010 年と 2018 年のホタルイカの主産卵期である 4、5 月における富山湾と山陰・若狭沖海水温に着目した。その結果、2018 年のほうが 2010 年よりも海水温は高かった（JODC のデータより算出）。このことから、2019 年で大型個体の割合が減少した要因は海水温の上昇によるものであると考えられた。

富山県と兵庫県で採取されたホタルイカの炭素・窒素安定同位体比には、有意差検定を行ったが有意差は認められなかった。また、CN マップに「食うー食われる」の関係を示す直線を引いたところ植物プランクトン、動物プランクトン、ホタルイカが一直線に乗ったことからホタルイカは植物プランクトンを起点とした食物網にあることが明らかになった。ホタルイカの窒素安定同位体比の経年変化に着目すると、2011、2013、2019 年では年変動がほぼ認められなかったことから、ホタルイカの餌の種類、摂餌割合はほとんど変化していないと考えられた。

一方、炭素安定同位体比の経年変化について着目すると、年々高くなる傾向がみられた。一般的に、海洋の炭素安定同位体比が高くなる要因としては植物プランクトンの急激な増殖（Takahashi *et al.*,1991）があげられ、ホタルイカはこの影響を受けると考えられる。また、海水温が高くなると植物プランクトンが増殖すること（R. W. Eppley,1972）から、2011 年と 2019 年の 3~6 月の富山湾と山陰・若狭沖の海水温に着目した。その結果、2011 年よりも 2019 年のほうが海水温は高く（EU COPERNICS の値より算出）、海水温が上昇した要因として対馬暖流に着目したところ、2011 年よりも 2019 年のほうが勢力は強かった（気象庁）。これらのことから、ホタルイカの炭素安定同位体比が高くなった要因は対馬暖流の勢力の増大によるものであると考えられた。

・底生生物

富山湾内外の2地点で採取されたベニズワイガニの炭素・窒素安定同位体比を比較すると、富山湾内の個体は富山湾外の個体よりも炭素安定同位体比の値は高く、窒素安定同位体比は低い値を示した。このことから、富山湾の内と外とではベニズワイガニの栄養源の炭素・窒素安定同位体比が異なることが考えられた。また、富山湾沿岸域は陸由来の低い窒素安定同位体比が流入しており、沿岸域の食物網全体で低い窒素安定同位体比を示すこと（浦沢,2015）が明らかとなっている。この沿岸域の低い窒素安定同位体比を反映した植物プランクトンや動物プランクトン由来のマリンスノーとして深海底に到達することで、富山湾内の窒素安定同位体比の値が低くなっていると考えられた。

懸濁態有機物、動物プランクトン及びオオグチボヤの間で食物連鎖の直線関係がみられたことから、動物プランクトンやオオグチボヤは植物プランクトンや植物プランクトン食の一次消費者を餌とすることが示唆された。また、ベニズワイガニやヒトデ類などの底生生物は高い炭素安定同位体比を示したことから、植物プランクトンとは異なる栄養源を利用していることが推測された。富山湾周辺海域の深海底においてはメタンハイドレートが存在することから、メタンハイドレート周辺にみられるバクテリアマットや炭酸塩岩（松本ら,2009）の影響が予測された。今後、バクテリアマットや炭酸塩岩に焦点をあてて調査・研究が行うことで、富山湾深海底における高い炭素安定同位体比の要因を特定し、ベニズワイガニを用いて深海底の環境を把握することができる可能性が示された。

4. まとめ

沿岸域の環境指標種であるイガイ類から、沿岸域は陸域の影響を強く受けており、特に富山県の沿岸域では他地域と比較して陸域からの影響を強く受けていることが示唆された。したがって、陸域から海洋に流入する物質の移動、変化を追い、それらを把握し、陸域を保全していく必要があると考えられる。

本年度は日本海的环境指標種であるホタルイカから、日本海における海水温の上昇による生物への影響が明らかとなった。このことから、ホタルイカやその他の魚種の漁獲量の変化とも関連がある可能性が考えられた。来年度は、海水温の上昇による生物への影響と漁獲量の関係性を明らかにし、それを踏まえた持続的な資源利用に関する提言を目指す。

本年度はベニズワイガニを含む底生生物より深海底特有の食物網の存在が示唆された。このことから、富山湾の深海底にあるメタンハイドレートを底生生物が利用している可能性が考えられた。来年度は、メタンハイドレート探索の新たな指標として底生生物が活用可能かを明らかにすることを旨とする。

5. 活動実績

- Yoshida, K., Zhang, J., Inamura, O. (2019) : Environmental analysis of the Japan sea by Firefly squid *Watasenia Scintillans*: using carbon and nitrogen isotope ratios, 第9回同位体環境学シンポジウム, 12月, 京都. (ポスター発表)
- Takei, Y., Zhang, J., Inamura, O. (2019) : Food web analysis of coastal Toyama Bay: Using carbon and nitrogen isotopes of the mussels, 第9回同位体環境学シンポジウム, 12月, 京都. (ポスター発表)
- Katsuda, H., Zhang, J., Inamura, O. (2019) : An approach on deep sea environmental assessment: Using carbon and nitrogen stable isotopes of red snow crab, 第9回同位体環境学シンポジウム, 12月, 京都. (ポスター発表)
- Katsuda, H., Zhang, J., Inamura, O. (2020) : Stable isotopic analysis of deep-sea benthic food web using red snow crab, JpGU-AGU Joint Meeting2020, 5月, 神奈川. (発表予定)