

研究成果報告書

- ・機関及び学部、学科等名：富山大学 理学部 生物圏環境科学科
- ・所属ゼミ：環境化学計測第二講座
- ・指導教員：張 勁
- ・代表学生：勝田 裕大
- ・参加学生：武井 柚佳、吉田 光佑

【研究題目】「天然のいけす」富山湾～沿岸海域から深海まで
～水深 1,000m の海洋環境に迫る～

1. 課題解決策の要約

本研究では、沿岸海域でムラサキインコガイ、中層海域ではホタルイカ、深海域ではベニズワイガニ等を用いて富山湾及び日本海の海洋環境の調査を行った。研究手法として環境把握に有効とされる炭素・窒素安定同位体比($\delta^{13}\text{C}$ ・ $\delta^{15}\text{N}$)を指標として使用した。

沿岸水域において水深 1m ごとに採取した付着藻類は水深 0～3m において $\delta^{13}\text{C}$ は一定の値を示し、河川水の影響を受けている可能性が示唆された。また、表層堆積有機物(SOM)は $\delta^{15}\text{N}$ がほぼ一定の低い値を示し、 $\delta^{13}\text{C}$ は水深が深くなるほど低くなる傾向がみられた。このことから、SOM は海底湧水の影響を受けている可能性、及び水深が深い場所に陸由来物質が堆積していることが示唆された。沿岸水域の環境指標として有用であるイガイ類は、餌として水深 4m、5m の付着藻類及び、水深 5m の SOM を利用している可能性が示唆された。また、レイシガイの $\delta^{13}\text{C}$ ・ $\delta^{15}\text{N}$ の値がイガイ類より栄養段階が高い値を示した。この結果より、富山湾内の沿岸水域では基礎生産者に SOM と付着藻類、一次消費者にイガイ類、二次消費者に肉食性巻貝という食物連鎖があることが判明した。日本海の環境指標種であるホタルイカの $\delta^{15}\text{N}$ の値には 2011 年、2013 年、2019 年で変動は見られなかった。しかしながら、 $\delta^{13}\text{C}$ の値は 2011 年、2013 年、2019 年の順で次第に高くなる傾向が見られた。また、対馬暖流の日本海への流量は 2011 年、2013 年、2019 年の順で多くなっていることが明らかになっている。この結果より、 $\delta^{13}\text{C}$ の変動は対馬暖流の日本海への流量の増加によるものであり、海洋環境の変化がそこに生息する生物に大きな影響を与える可能性が示唆された。深海域に生息するベニズワイガニは、富山湾内に生息する魚類よりも $\delta^{13}\text{C}$ の値が高いことが明らかとなった。また、魚津沖、能登沖で採取されたベニズワイガニの $\delta^{13}\text{C}$ ・ $\delta^{15}\text{N}$ の値を比較したところ魚津沖個体は能登沖個体よりも $\delta^{13}\text{C}$ 値が高く、 $\delta^{15}\text{N}$ 値は低かった。このことから、深海底に生息する生物種は植物プランクトン以外の基礎生産も利用している可能性が示された。本研究では、炭素・窒素安定同位体比解析を行うことで富山湾特有の食物網を科学的根拠に基づいて可視化することができた。測定結果より陸域からの影響が深海域まで及んでいる可能性が示された。さらに本研究により、日本海の環境の変化と、生物の化学的データとの関連性が示唆されたことにより、継続的な調査を実施することで富山湾の海洋環境の解明につながることを判明した。

2. 調査研究の目的

富山湾は日本海に生息する魚類約800種のうちの約500種が獲れることから天然のいけすとも呼ばれ、富山県の漁業や観光業そして県民の暮らしを支えている。さらに近年は今まで殆どみられなかったリュウグウノツカイ等が相次いで発見され世界中から注目を浴びるなど、富山湾は漁業・観光面だけでなく科学的研究の格好なフィールドであり、今後の発展が期待される。そこで本研究は、富山湾の沿岸海域から深海に生息する多様な魚介類を対象とし、富山湾の沿岸海域から深海域までの生態系を科学的根拠に基づいて可視化することで富山湾及び日本海の海洋環境の把握をすることを目的に研究を行った。

3. 調査研究の内容

本研究では、研究手法として食物網の解析等で幅広く利用されている炭素・窒素安定同位体比 ($\delta^{13}\text{C}$ ・ $\delta^{15}\text{N}$) を解析手法として用いた。生物の体を構成する炭素、窒素などの元素の安定同位体比では「食う-食われる」の関係にある生物間で、ある一定の幅を持って変動することが知られている。このことから食物網等の解析に用いられることが多い。炭素安定同位体比は栄養段階が1つあがるごとに0~1%程度の上昇しかなく、この上昇幅はわずかであることから炭素安定同位体比は餌源の推定に用いられている (Vander Zanden and Rasmussen, 2001)。一方、窒素安定同位体比

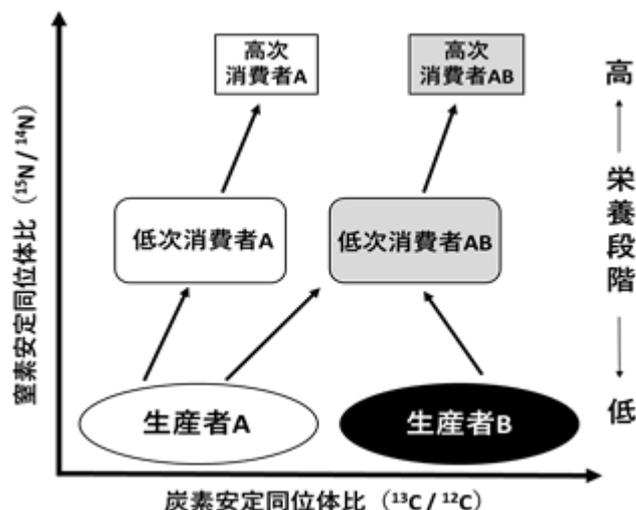


図1:食物連鎖における炭素・窒素安定同位体比の変化の概略図

は栄養段階が1つあがるごとに平均で $3.4 \pm 1.1\%$ 上昇することが知られている。この高い上昇幅より、栄養段階の推定に用いられている (Minagawa and Wada, 1984; Vander Zanden and Rasmussen, 2001)。このように、炭素・窒素安定同位体比解析は長期的な餌状態を把握できる化学的な手法として知られており、生態系における基礎生産から高次の消費者にいたる食物網や、環境における炭素や窒素の流れを解明する方法として用いることができる。さらに、栄植物プランクトンの繁殖状況なども同位体比に影響するため、水圏環境のモニタリングにも応用されている。したがって、水圏に生息する生物の同位体比をモニタリングすることで、環境変動を把握することが可能であると考えられる (例えば、山崎修論, 2013)。本研究では採取が容易で、個体数も多く、沿岸海域の環境を反映していたことから、沿岸海洋環境指標として有用である (松野, 2018) ムラサキインコガイ (松野, 2018)、炭素・窒素安定同位体比は餌生物となる低次消費者のばらつきを平均化して纏まった値を示し、気候変動による海洋環境の水温変化等の影響を把握可能と考えられるため日本海の環境指標種として有効であるホタルイカ (山崎修論, 2013) に加えて、今まで殆ど研究が行なわれていなかった深海域の底層で生息する生物の代表として富山湾で多く水揚げされるベニズワイガニを対象に炭素・窒素安定同位体比の測定を行い、富山湾及び日本海の海洋環境の把握及び推定を行った。

4. 調査研究の成果

本研究では、富山県の沿岸域及び日本海の中層海域、深海域に着目して、調査を行った。沿岸域、中層域、深海域で調査を行った結果、以下のようなことが明らかになった。

① 付着藻類及び表層堆積有機物からみる陸域からの影響

イガイ類の餌源を把握するために2019年8月に富山県魚津市大町海岸において、1m間隔で表層から水深5mまでの付着藻類及び水深5m、10m、15mの表層堆積有機物(SOM)を採取した。付着藻類は、水深0~3mでは $\delta^{15}\text{N}$ は一定の値を示した。水深4m、5mについては深くなるにつれて $\delta^{15}\text{N}$ が低くなることが明らかになった。水深0~3mに関しては、夏場の沿岸海域では水深3m付近まで河川水が流れ込んでいることが知られており (小田巻, 1983)、水深0~3mの付着藻類は河川水の影響を受けていることが示唆された。また、

SOM は水深が深くなっても $\delta^{15}\text{N}$ の値は 1‰程度で一定であった。魚津市の沿岸海域では水深 8~20m において海底湧水が湧出していることが明らかになっている(張,2005)。この海底湧水は $\delta^{15}\text{N}$ が-4.2~2.2‰と低く(太田,2011)、これらと同程度の値を示した水深 10m、15m の SOM は海底湧水の影響を受けている可能性が示唆された。一方で、 $\delta^{13}\text{C}$ に着目すると水深が深くなるにつれて、その値は低くなる傾向を示した。これは、水深が浅い場所では攪乱により河川から供給された陸由来物質が堆積しにくく、深い場所では堆積し易い環境にあるためと考えられた。以上の結果より、沿岸海域は河川水及び海底湧水の影響を顕著に受けることが明らかになった。さらに、数メートルの差という狭い範囲内で同位体比に差が表れることから、富山湾の沿岸海域の環境は複雑であることが明らかになった。

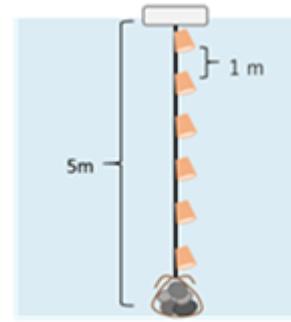


図2:付着藻類の採取に用いた採取装置の概略図

② 沿岸海域の食物網

沿岸海域に生息するイガイ類は炭素・窒素安定同位体比解析より、付着藻類と SOM を摂食していることが示唆された。餌となる付着藻類と SOM の水深と同位体比に着目すると、イガイ類の餌源として水深 4m、5m の付着藻類及び水深 5m の SOM が餌であると推測された。このことから、イガイ類は生息環境付近で巻き上げられた SOM や付着藻類の混合物を摂食していると考えられた。また、肉食性巻貝であるレイシガイの $\delta^{13}\text{C}$ ・ $\delta^{15}\text{N}$ は、イガイ類と同じ栄養源であるものの栄養段階が 1 つ高くなることが確認された。このことよりイガイ類を中心とした沿岸海域の食物網として、SOM と付着藻類が餌源、イガイ類が一次消費者、肉食性巻貝が二次消費者であると示唆された。

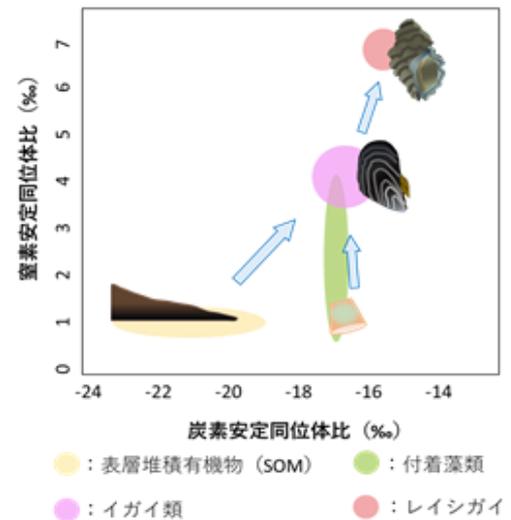


図3:イガイ類を中心とした沿岸海域の食物網

③ ホタルイカによる海洋環境の変化の把握

富山湾で水揚げされたホタルイカの $\delta^{13}\text{C}$ ・ $\delta^{15}\text{N}$ の値を、2011 年、2013 年、2019 年に富山湾にて水揚げされた個体の値と比較を行った。 $\delta^{15}\text{N}$ に年による変動は見られなかった。しかしながら、 $\delta^{13}\text{C}$ は 2011 年、2013 年、2019 年の順で次第に高くなる傾向がみられた。 $\delta^{13}\text{C}$ が高くなる要因として、海洋表層のプランクトンは高緯度にて生育した個体よりも低緯度にて生育した個体の方が同位体比は高くなることが報告されている(Rau *et al.*,1982)ことから低緯度の海水の流入、自然水域における植物プランクトンや懸濁態有機炭素の $\delta^{13}\text{C}$ の変動は溶存態無機炭素の同位体比が比較的一定な条件下であれば、植物プランクトンの比増殖速度によって規定されているという報告がある(Takahashi *et al.*,1991)ことから基礎生産者(植物プランクトン)の量の増加の二つの要因が考察された。はじめに、低緯度の海水の流入について考察を行った。日本海に流入する低緯度の海水として考えられるものとして対馬暖流がある。そこで 2011 年、2013 年、2019 年の日本海への対馬暖流の流量の比較を行った。その結果、2011 年、2013 年、2019 年の順で日本海への対馬暖流の流量は増加していた(気象庁)。これより低緯度の海水の流入が $\delta^{13}\text{C}$ を高くする要因の一つであることが示唆された。次に基礎生産者(植物プランクトン)の量の増加につ

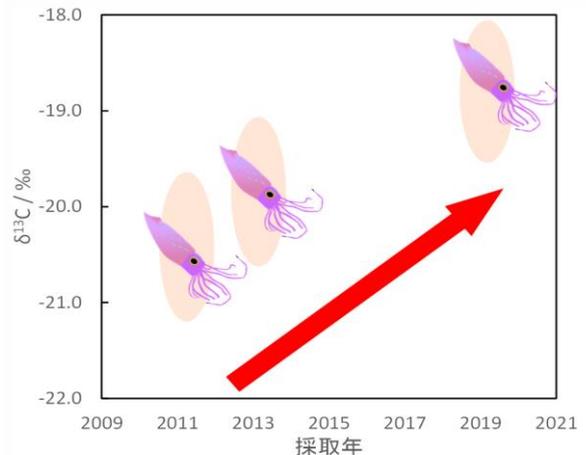


図4:ホタルイカの $\delta^{13}\text{C}$ の経年変化

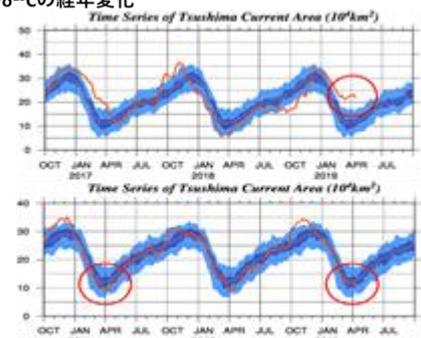


図5:対馬暖流の流量(気象庁)

いて考察を行った。基礎生産者の量の増加は海水温が上昇することで起こることが知られている(R. W. Eppley,1972)。海水温の上昇の要因として考えられるものとして日本海への対馬暖流の流量の増加が考えられた。これについては低緯度の海水の流入についての考察の際に述べた通り2011年、2013年、2019年の順で日本海への対馬暖流の流量は増加していたため、基礎生産者の量も増加していたと考えられる。このことから基礎生産者の量の増加も $\delta^{13}\text{C}$ を高くする要因の一つであることが示唆された。上記より、日本海の海洋環境の変化がそこに生息する生物に大きな影響を与える可能性がホタルイカの調査を行うことによって示唆された。

④ ベニズワイガニから探る深層における基礎生産

魚津沖及び能登沖にてカニカゴ漁法で水揚げされたベニズワイガニやヒトデ類を試料として用いた。先行研究により、富山湾表層に生息する魚類及び深層に生息する魚類の $\delta^{13}\text{C}$ ・ $\delta^{15}\text{N}$ の測定が行われ、富山湾の魚類を支える基礎生産は植物プランクトン・底生藻類とされている(大塚,2015)。先行研究と比較すると、深海底で生活する生物種(ベニズワイガニ、ヒトデ類等)では深層魚類に比べ、 $\delta^{15}\text{N}$ では差が見られないもののベニズワイガニの $\delta^{13}\text{C}$ は高い値を示した。さらに、魚津沖及び能登沖のベニズワイガニの同位体比の比較を行った結果、魚津沖のベニズワイガニの $\delta^{13}\text{C}$ は高い値を、 $\delta^{15}\text{N}$ は低い値を示した。このことから、富山湾の深海底に生息する生物種は植物プランクトン以外の基礎生産も摂食していることが示唆された。また、魚津市における海藻類の炭素同位体比は $-19\sim-14\text{‰}$ 程度であり(太田,2011)、魚津沖のヒトデ類の $\delta^{13}\text{C}$ と類似していた。沿岸域に生育する大型藻類が深海動物相への炭素供給源となることが明らかになっている(Moore,1963;Wolff,1976)。このことから、富山湾の深海底生態系においては、日本海の深海底生態系と比較して、大型海藻類の寄与が大きい可能性が示された。今後、より詳細な科学的根拠を明らかにするために、継続した調査が必要であると考えられた。

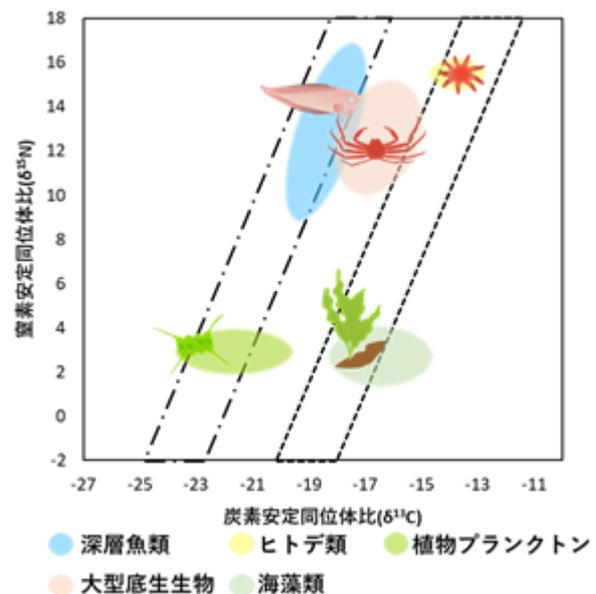


図6:富山湾深層の食物網の概略図

5. 調査研究に基づく提言

今回の調査では、沿岸海域の環境指標として有用なイガイ類は、SOMと付着藻類を混合して餌としていることが示唆された。またSOM、付着藻類は陸域からの影響(河川、海底湧水)を強く受けていることが判明した。深海域のベニズワイガニからは富山湾の深海底生態系は日本海の深海底生態系よりも沿岸海域に生息する大型藻類の影響を強く受けていると考えられた。これらの結果より、陸域からの影響は沿岸海域だけでなく深海域まで及んでいることが示唆された。このため陸域における人為的な変化、環境の変化が富山湾の沿岸域から深海域に生息する生物に直接的、間接的に大きな影響を与えていることが明らかになった。したがって、富山湾の豊かな漁業環境の保全には、陸域から海へ流入する物質の変化などを調査し、陸域の保全が必要と考えられた。また、富山湾の名産物であり、日本海的环境指標種であるホタルイカからは対馬暖流の流量の変化による生物への影響が明らかとなった。この結果より、日本海的环境変化を捉えた研究を進めるとともに、そこに生息する生物の継続的な調査も行う必要があると考えられた。

6. 課題解決策の自己評価

本研究では、富山湾の沿岸海域から深海域までに生息する生物を対象に炭素・窒素安定同位体比解析を行うことで富山湾特有の食物網を科学的根拠に基づいて可視化することができた。また、陸域からの影響が深海域まで及んでいる可能性が示唆された。さらに、ホタルイカの $\delta^{13}\text{C}$ ・ $\delta^{15}\text{N}$ より、日本海的环境

と、そこに生息する生物を関連付けた継続的な調査の必要性が明らかとなった。これにより、富山湾の豊かな漁業環境の保全に対する提言の科学的な基礎資料を提供できた。本研究の最大の特徴である沿岸海域から深海域まで、さらに日本海と結びつけた調査結果をもとにし、富山湾の豊かな魚介類を売りにした持続的な地域づくりをする上で重要で具体的な提言を行うことができると考えられる。