

研究成果報告書

- ・機関及び学部、学科等名：富山大学 持続可能社会創成学環 グローバル SDGs プログラム
- ・所属ゼミ：環境化学計測第二講座
- ・指導教員：張 勁
- ・代表学生：林 健太郎
- ・参加学生：勝田 裕大、南 佑紀

【研究題目】

能登半島地震の沿岸生物への影響調査～イガイ類・アオリイカ等を指標として～

1. 課題解決策の要約

本研究では、沿岸海域の指標とされるイガイ類と沿岸食物網の上位にいるアオリイカの炭素・窒素安定同位体比、イガイ類の殻に記録された微量元素濃度を用いて、令和6年能登半島地震が富山県の沿岸海域に与えた影響の調査を行った。アオリイカとイガイ類の炭素・窒素安定同位体比を地震前後で比較した結果、地震によって沿岸食物網が大きく変化した可能性は低いことが考えられた。富山湾産アオリイカと他地域2点の窒素安定同位体比を比較した結果、アオリイカの窒素安定同位体比は、その地域における陸域からの窒素供給状況を反映することが示唆された。富山県においては、陸から海への物質輸送が沿岸生態系を支えていることが明らかになった。また、イガイ類の殻に含まれる Cu、Co、Pb 濃度のピークがみられた。この殻の形成時期を推定した結果、能登半島地震が発生した時期と一致している可能性が高く、海底地滑りによって巻き上げられた海底堆積物が沿岸海域へ流入した可能性が明らかとなった。

2. 調査研究の目的

令和6年能登半島地震により、富山県では観測史上最大となる震度5強が観測され、富山湾沿岸全域での津波、海底地滑りが確認されている(NHK ニュース, 2024年2月; Minami et al, 2024)。地震や津波などの自然災害は、社会的・経済的被害だけでなく、沿岸生態系や海底環境に変化をもたらす(Seike et al, 2013)。津波により攪乱された海洋堆積物に含まれる重金属などにより、沿岸環境が汚染された例が報告されており(Mizukawa et al, 2017)、富山湾沿岸全域でも生物や食物網に与える影響が懸念される。そこで本研究では、濾過摂食者であり沿岸海域の指標とされるイガイ類と沿岸食物網の上位にいるアオリイカを対象とし、令和6年能登半島地震が富山の沿岸食物網に与える影響の解明を目的とした。

3. 調査研究の内容

イガイ類は、付着性二枚貝であり、周囲の水ごと体内に取り込む過摂食者である。生息地の水環境を反映しており、世界各地の沿岸海域でも“Mussel Watch”と呼ばれるモニタリングが行われている(例えば、Rainbow et al., 1995)。また、富山湾におけるイガイ類の炭素・窒素安定同位体比は、ばらつきが小さく、地域差がみられることから、沿岸海域の指標として有用であることがわかっている(松野卒論, 2018; 花村卒論, 2021)。本研究では、富山県の沿岸海域7地点で2ヶ月に1度の頻度で採取を行った。

また、富山湾の沿岸海域の食物網を代表する指標種として、アオリイカにも着目した。富山湾におけるアオリイカは、対馬暖流より回遊してきた個体(5~6月)と富山湾内でふ化した個体(夏~秋)が存在し、冬期の水温低下に伴って死滅する。本研究では、9月から11月に採取した個体を試料としており、地震後にふ化・成長した個体を対象とすることで、地震による沿岸海域の食物網の変化を捉えられるかの検討を行った



図1: 試料採取地点



図2: 試料採取の様子



図3: 試料分析の様子

【炭素・窒素安定同位体比解析】

本研究では、食物網を解析するための手法として幅広く利用されている炭素・窒素安定同位体比($\delta^{13}\text{C}$ ・ $\delta^{15}\text{N}$)解析を用いた。食物連鎖の中で、基礎生産者、低次消費者、高次消費者へと栄養段階が一段階上昇するに従って、炭素安定同位体比では0~1‰、窒素安定同位体比では 3.4 ± 1.1 ‰の上昇があることが経験則として知られている(Minagawa and Wada, 1984; DeNiro and Epstein, 1978)。栄養段階の上昇にともなう炭素安定同位体比の変化はわずかであることから、餌源の推定に用いられ、一方で、窒素安定同位体比の変化は大きいから、栄養段階の推定に用いられる。そのため、対象生物の餌やその生育に必要な栄養塩が変化した場合、対象生物の炭素・窒素安定同位体比が変化すると考えられる。炭素・窒素安定同位体比の測定には富山大学所有の安定同位体比質量分析計(EA-IRMS)を用いた。

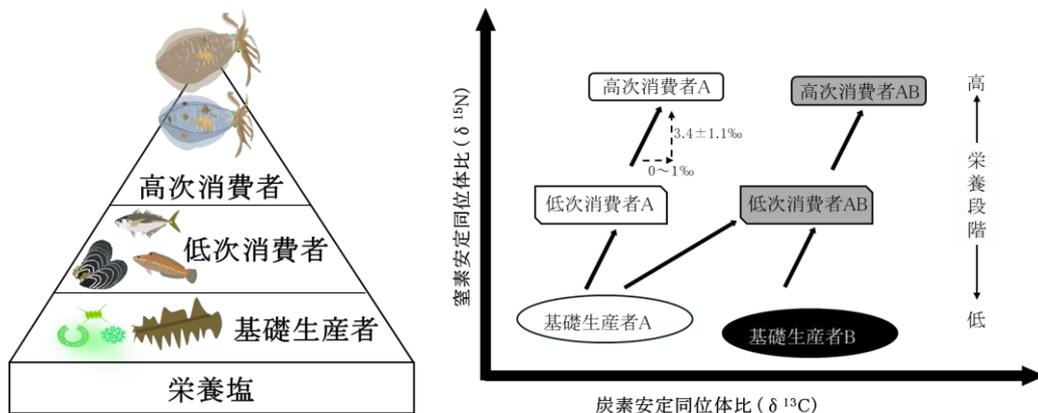


図4: 生態ピラミッド概略図(左) 炭素・窒素安定同位体比解析の概略図(右)

【イガイ類の殻に含まれる微量元素濃度の解析】

イガイ類の殻は、縁辺部に結晶が付加されながら大きくなるため、潮汐による成長パターンが外殻層に形成される(Clark et al, 1974)。そのため、成長過程において、殻の化学組成や同位体組成に周辺環境の汚染物質(重金属や希土類元素)が反映される(Brend et al, 2016)。実際に、津波による沿岸域への土砂流入や

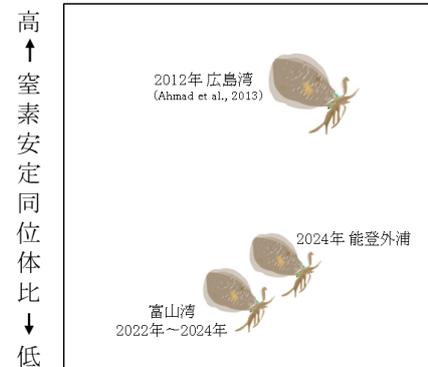
海底堆積物の巻き上がりが、殻中の Mn 濃度の変化として記録された例が報告されている(Sugihara et al, 2019)。本研究では、同済大学(中国・上海)所有のレーザーアブレーション誘導結合プラズマ質量分析計(LA-ICP-MS)を用いて、外殻層に含まれる微量元素濃度の測定を行った。

4. 調査研究の成果

4-1.アオリイカの炭素・窒素安定同位体比解析

能登半島地震が沿岸食物網に与える影響の把握のために、2022～2024年の秋季に富山湾で採取したアオリイカを用いた。また、他地域との比較のため、2024年に能登外浦で採取したアオリイカと、2012年に広島湾で報告された個体の炭素・窒素安定同位体比を図5に示した(Ahmad et al, 2013)。2022年、2023年、2024年に採取した富山湾産アオリイカの $\delta^{13}\text{C}$ ・ $\delta^{15}\text{N}$ に有意な差はみられなかったことから、能登半島地震の前後で食物網が大きく変わった可能性は低いことが考えられた。

2024年に能登外浦で採取された個体は同年に富山湾で採取された個体と比較して、 $\delta^{13}\text{C}$ ・ $\delta^{15}\text{N}$ ともに高い値で特徴付けられた($p < 0.05$)。富山湾沿岸海域には河川や海底湧水による $\delta^{15}\text{N}$ の低い NO_3^- が供給されており、沿岸海域の基礎生産の $\delta^{15}\text{N}$ も低いことが報告されている(浦沢修論, 2015)。このことから、他2地域と比較して低い値をとる富山湾産アオリイカの $\delta^{15}\text{N}$ には、富山湾特有の陸域からの窒素供給状況が反映されていることが考えられた。



低 ← 炭素安定同位体比 → 高

図5:アオリイカの炭素・窒素安定同位体比

4-2. イガイ類の炭素・窒素安定同位体比の時系列データ

富山湾沿岸海域7地点で2017年から2024年にかけて採取されたイガイ類を用いて比較を行った。富山湾産イガイ類の $\delta^{13}\text{C}$ は約-18～-16‰の範囲にあり、能登半島地震の前後において変化は見られなかった。イガイ類の $\delta^{15}\text{N}$ は富山県の東西で有意な差がみられた($p < 0.05$)。この差について、花村(卒論, 2021)は富山県東西の地形の差による河川水の供給状況の差異の影響を指摘している。能登半島地震の前後においてもこの傾向は一貫しており、イガイ類の $\delta^{15}\text{N}$ は富山県西部で高く、県東部で低い値をとっていた。このことから、富山湾沿岸海域における陸域からの窒素供給状況は能登半島地震の前後で変わっていないことが示唆された。

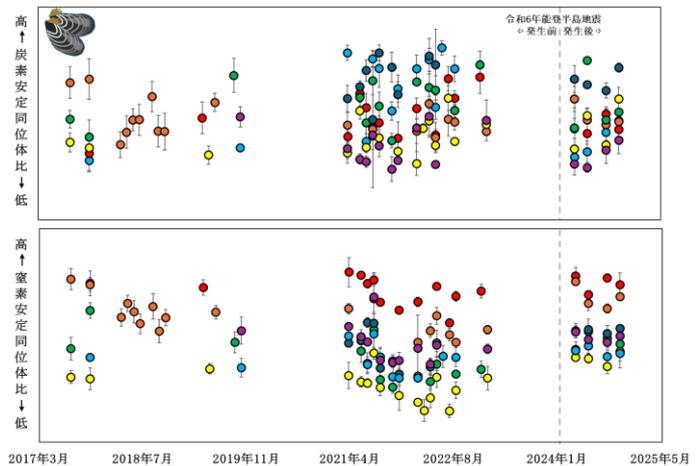


図6:イガイ類の炭素安定同位体比の時系列データ(上)
イガイ類の窒素安定同位体比の時系列データ(下)

4-3.イガイ類の殻の微量元素濃度からみる海洋環境の変化

イガイ類の殻の微量元素濃度の測定結果を図7に示す。富山県射水市海老江と入善町八幡において、採取したイガイ類の殻に含まれるCu、Co、Pb濃度のピークがみられた。イガイ類の殻が $100\mu\text{m}$ 成長するには1日から数日かかるため(Sugihara et al, 2019)、本研究では $100\mu\text{m}$ 成長するのに1.5日かかるかと仮定

し、およその時期の推定を行った。その結果、これらのピークがみられた部分の殻は 2023 年 12 月上旬から 2024 年 1 月下旬に形成された可能性が高いと考えられた。したがって、この期間は能登半島地震の発生時期と一致している可能性が高い。富山湾奥の海底堆積物には、神通川上流域の鉱山を主な起源とする Zn、Pb、Co が含まれていることが報告されている(Ohta et al., 2004; 産総研地球化学図)。そのため、能登半島地震に起因する海底地滑りによって、海底堆積物の攪乱や間隙水の放出が起り、海底が還元的な環境になった結果、これらの金属元素が溶出し、冬季の鉛直混合による深層水の輸送とも相まって、沿岸域に流入してきた可能性が考えられた。海老江で採取された個体の Pb 濃度と八幡で採取された個体の Cu、Co、Pb 濃度は、上昇後も一定期間高い値が続いていた。庄川・小矢部川河口沖合や神通川河口沖合などの広い範囲で多数の海底地滑りが発生しており(Minami et al., 2024)、巻き上がった微量金属元素が、一定期間流入していたことが示唆された。

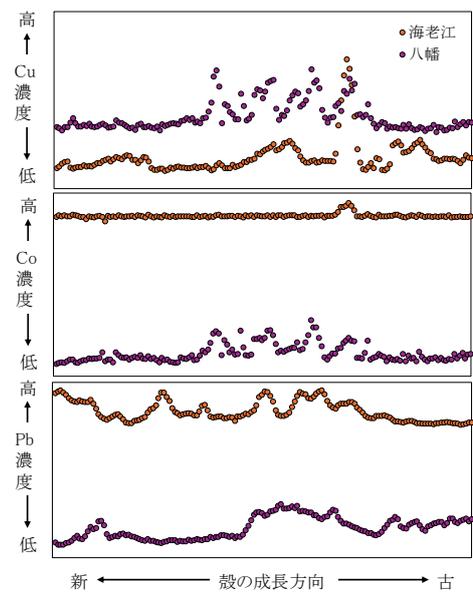


図7: 殻中の微量元素濃度の変化

5. 調査研究に基づく提言

本研究では、令和 6 年能登半島地震が富山湾沿岸域の食物網と海洋環境にもたらした影響の解明を目的とした調査を実施した。得られた成果は、以下の通りである。

- ① 炭素・窒素安定同位体比は、地震以前から大きく変化しておらず、沿岸海域の食物網は変化していないと考えられた。しかし、殻中の微量元素濃度が地震直後に大きく変化しており、地震直後には短期的に食物網に変化が生じていた可能性がある。
- ② 富山湾産アオリイカと他地域2点の窒素安定同位体比を比較したところ、有意な差がみられた。このことから、アオリイカの窒素安定同位体比は、陸域からの窒素供給状況を反映する可能性が示された。また、富山湾では陸域由来の影響が強く現れており、持続可能な沿岸海域の利用のためには、陸域と沿岸海域を1つの系とした総合的な管理が重要である。
- ③ 殻中の微量元素濃度の一部は、地震直後に相当する時期で高濃度であり、海底堆積物の巻き上げもしくは陸域からの負荷の増加の可能性が考えられた。したがって、殻に含まれる微量元素濃度の解析は、地震がもたらした海洋環境の変化を把握するツールとして、有用であることが示唆された。

6. 課題解決策の自己評価

生息環境やその地域の食物網を代表するような環境指標種を対象とした化学分析から、令和 6 年能登半島地震が沿岸海域に与えた影響の調査を通して、災害時の沿岸海洋環境の物質動態を明らかにすることができた。これらの知見は、近年多発する豪雨災害などによる沿岸海洋環境への影響を解析するツールとしての応用が期待できる。今後、より詳細な解析を行うことで、災害などの環境変化に伴う、沿岸海域への影響がさらに明確にできるものと考えられる。

【謝辞】

本研究は、「令和 6 年度学生による地域フィールドワーク研究助成事業」を受け実施いたしました。LA-ICP-MS を用いた微量元素濃度の測定にご協力いただきました同濟大学(中国・上海) Huang Xiangtong 先生、Guang Xia さんに深く感謝申し上げます。

【参考文献】

1. Clark, G. R., II. (1974). Growth lines in invertebrate skeletons. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 2(1), 77-99. <https://doi.org/10.1146/annurev.ea.02.050174.000453>
2. DeNiro, M. J., & Epstein, S. (1978). Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 42(5), 495-506. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(78\)90199-0](https://doi.org/10.1016/0016-7037(78)90199-0)
3. Minagawa, M., & Wada, E. (1984). Stepwise enrichment of ^{15}N along food chains: Further evidence and the relation between $\delta^{15}\text{N}$ and animal age. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 48(5), 1135-1140. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(84\)90204-7](https://doi.org/10.1016/0016-7037(84)90204-7)
4. Minami, H., Umino, K., Tateishi, R., Kawamura, N., & Seo, N. (2025). Detecting submarine landslides caused by the 2024 Noto Peninsula Earthquake through repeat bathymetric surveys in Toyama Bay, Japan. *Landslides*, 22(2), 449-458. <https://doi.org/10.1007/s10346-024-02434-2>
5. Mizukawa, K., Hirai, Y., Sakakibara, H., Endo, S., Okuda, K., Takada, H., Murakami-Sugihara, N., Shirai, K., & Ogawa, H. (2017). Spatial Distribution and Temporal Trend of Anthropogenic Organic Compounds Derived from the 2011 East Japan Earthquake. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 73(2), 185-195. <https://doi.org/10.1007/s00244-017-0389-6>
6. Murakami-Sugihara, N., Shirai, K., Hori, M., Amano, Y., Fukuda, H., Obata, H., Tanaka, K., Mizukawa, K., Sano, Y., Takada, H., & Ogawa, H. (2019). Mussel shell geochemical analyses reflect coastal environmental changes following the 2011 Tohoku tsunami. *ACS Earth & Space Chemistry*, 3(7), 1346-1352. <https://doi.org/10.1021/acsearthspacechem.9b00040>
7. Ohta, A., Imai, N., Terashima, S., Tachibana, Y., Ikehara, K., & Nakajima, T. (2004). Geochemical mapping in Hokuriku, Japan: influence of surface geology, mineral occurrences and mass movement from terrestrial to marine environments. *Applied Geochemistry: Journal of the International Association of Geochemistry and Cosmochemistry*, 19(9), 1453-1469. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2004.01.026>
8. Rainbow, P. S. (1995). Biomonitoring of heavy metal availability in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 31(4-12), 183-192. [https://doi.org/10.1016/0025-326x\(95\)00116-5](https://doi.org/10.1016/0025-326x(95)00116-5)
9. Schöne, B. R., & Krause, R. A., Jr. (2016). Retrospective environmental biomonitoring - Mussel Watch expanded. *Global and Planetary Change*, 144, 228-251. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2016.08.002>
10. Seike, K., Shirai, K., & Kogure, Y. (2013). Disturbance of shallow marine soft-bottom environments and megabenthos assemblages by a huge tsunami induced by the 2011 M9.0 Tohoku-Oki earthquake. *PLoS One*, 8(6), e65417. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0065417>
11. Ahmad-Syazni, K., Yamamoto, M., Tahara, N., Tomano, S., Ishihi, Y., Tokuda, M., & Umino, T. (2013). 炭素窒素安定同位体比を用いた広島湾の海産生物 24 種の栄養段階の推定. 広島大学大学院生物圏科学研究科, 52, 1-7.
12. 松野卒論(2018), 浦沢修論(2015), 花村卒論(2021). 富山大学
13. NHK ニュース, 富山湾 海洋深層水を深海からくみ上げる取水管 地震影響で切断(2024年2月13日), <https://www3.nhk.or.jp/news/html/20240213/k10014356871000.html>
14. 産総研, 地球化学図 <https://gbank.gsj.jp/geochemmap/gmaps/map.htm>