

## 2024 年度日本海学研究グループ支援事業 報告書（事業開始年度）

研究課題名：令和 6 年能登半島地震が富山湾の深海食物網に及ぼす影響評価  
～ベニズワイガニの持続可能な漁業の在り方を探る～

代表者：三神 崇重（富山大学大学院 持続可能社会創成学環 グローバル SGDｓ プログラム 修士 1 年）

大塚 進平（富山大学大学院 理工学教育部 地球生命環境科学専攻 博士課程 2 年）

### 1. 研究背景・目的

ベニズワイガニ（以降、ベニズワイ）は日本海の水深 500～2,700 m という非常に広い水深帯の深海に生息し、かつ膨大な資源量を誇る日本海の深海を代表する生物の 1 種で、深海生態系の維持において重要な位置を占めている。また、本種は重要な漁業資源として利用されており、令和 4 年度の漁獲量は約 12,000t で、国内のカニ類で最多である。富山県においても、ベニズワイ漁が活発に行われており、「高志の紅ガニ(こしのあかガニ)」の愛称をつけてブランド化されている。また、富山では漁場が近いという利点を活かし、カニ籠漁により市場に新鮮な状態のベニズワイが多く水揚げされる。また、昼セリの見学会の開催なども行われており、水産・観光資源として重要な役割を担っている。

しかし、2024 年 1 月 1 日に発生した「令和 6 年能登半島地震」に起因する富山湾内の海底地すべりが、2025 年 2 月時点で約 50 か所発生していることが確認されており、海底地すべりによる漁場崩壊や、それに伴うカニ籠漁具の損失を引き起こした。2024 年の富山県のベニズワイ漁獲量は平年の 54 %と過去最少で、記録的な不漁となっていることが報告されており、地震に伴う深海生物への影響が顕在化している。

そこで本研究では、取得済みの地震以前の試料分析に加え、富山湾の試料採取実績のある海域において、ベニズワイやその他深海生物および表層堆積物の採取を行い、試料分析を行う。得られた結果を基に地震前後における深海生態系および海底環境の変化の把握を行うとともに、ベニズワイを持続可能な資源としていくための漁業の在り方についても検討する。

### 2. 研究手法

#### 2-1. 研究対象地域及び試料採取

本研究対象の調査地点を図 1 に示した。富山湾内の水深 500 m 以深にベニズワイは広く生息しているが、今回は、漁場として利用されている付近でベニズワイを採取した。2024 年 7 月に富山湾中央部で桁網を使用したベニズワイ（甲幅：8.4～116.2 mm）とその周辺に生息する深海生物の採取が富山県農林水産総合技術センター水産研究所（以降、富山県水産研

究所)の「立山丸」で行われ、提供を受けた。また、2024年2月～11月の間に朝日町沖と富山湾奥部においてカニ籠で漁獲されたベニズワイ(甲幅90 mm以上)とその周辺に生息する深海生物を、漁業者から提供を受けた。

表層堆積物は、2023年と2024年に長崎大学水産学部所属「長崎丸」に乗船し、常願寺川沖と黒部川沖で採取を行った。

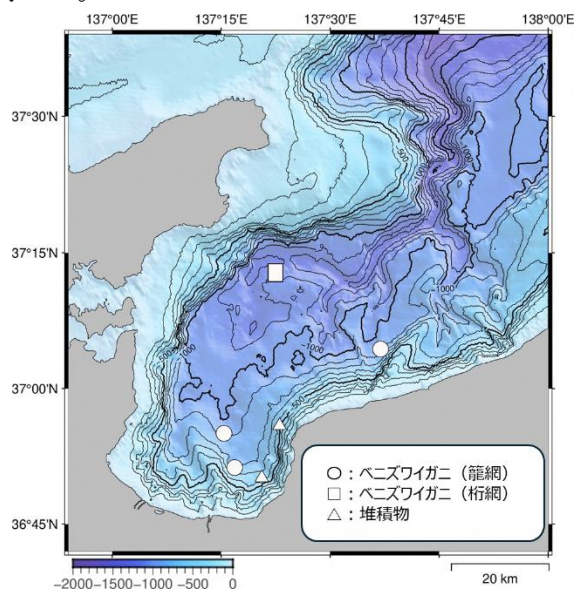


図1. 研究海域の海底地形と調査地点

## 2-2. 分析

### 2-2-1. 富山湾産深海生物の食物網調査

ベニズワイを含む深海食物網の現状を明らかにするために、ベニズワイの胃内容物調査と、餌源と栄養段階の指標となる炭素・窒素安定同位体比( $\delta^{13}\text{C}$ ・ $\delta^{15}\text{N}$ )の分析を実施した。

ベニズワイの胃内容物は頻度法(Hynes 1950, 浜野 2005)により集計し、各餌生物の出現頻度を「 $100 \times \text{その餌生物を胃中に含んでいた個体の数} / \text{胃の中に何らかの餌が存在した個体の数}$ 」で計算される値(%)として示した。

ベニズワイおよび他の深海生物の $\delta^{13}\text{C}$ ・ $\delta^{15}\text{N}$ は、筋肉組織を脱脂処理した後、EA-IRMS(EA IsoLink CN/OH IRMS System, Thermo Fisher Scientific 社)で測定を行った(測定精度: $\delta^{13}\text{C} = \pm 0.09 \text{ ‰}$ 、 $\delta^{15}\text{N} = \pm 0.25 \text{ ‰}$ )。

**$\delta^{13}\text{C}$ ・ $\delta^{15}\text{N}$ :** 生物試料の $\delta^{13}\text{C}$ ・ $\delta^{15}\text{N}$ には、胃内容物調査だけでは分からない長期間利用した平均的な餌の記録が反映されていることが知られている。特に、食物網解析に多く用いられており、 $\delta^{13}\text{C}$ は栄養段階の上昇に伴い、約1‰程度の僅かな上昇幅であることから餌源の推定に用いられており、 $\delta^{15}\text{N}$ は栄養段階の上昇に伴い、約 $3.4 \pm 1.1 \text{ ‰}$ 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)。

なお、桁籠で採取された生物は胃内容物調査と同位体比分析を実施したが、カニ籠漁で採取された生物は、籠に捕獲されて数日経過しており、胃内容物が自然状態ではないと考えられた。そのため、長期間の餌履歴を追える同位体比分析のみを行った。

### 2-2-2. 深海生物の生息域周辺における底質調査

底質環境の地震後の変化を明らかにするために、表層堆積物の粒度と放射性核種 ( $^{137}\text{Cs}$  と  $^{210}\text{Pb}$ ) の分析を行った。

粒度分布は、地震以前の堆積物と、2024 年に採取した常願寺川沖の堆積物について、レーザー回折式粒度分布測定装置(Mastersizer 2000, Malvern Panalytical)を用いて測定を行った。測定にあたって、分散媒には、5.5 g/l ヘキサメタリン酸ナトリウム溶液を用い、測定直前に 1 分間の超音波をかけた。2024 年に採取した黒部沖の堆積物については、装置の測定範囲 (< 2 mm) よりも粗粒の割合が高いと考えられたため、湿式ふるい法により、砂区分と泥(シルト+粘土)の割合を算出した。

$^{137}\text{Cs}$  と  $^{210}\text{Pb}$  は、乾燥試料を、めのう乳鉢を用いて堆積物粒子をシルトサイズに粉碎した後、プラスチック製容器に密封し、 $^{226}\text{Ra}$  と  $^{222}\text{Rn}$  の間に放射平衡が成立するまで 1 か月以上放置した。測定は、福島大学環境放射能研究所の Ge 半導体検出器を用いた。なお、試料と標準物質間の密度差に伴う  $\gamma$  線の吸収効果を最小限にするため、試料充填の高さは一定にした。地層の年代と堆積速度の算出は、CRS モデル(Appleby & Oldfield, 1978; Appleby, 2002) に基き、rplum パッケージを用いて RStudio で実行した(Aquino-L' Opez et al., 2018)。

放射性核種を用いた堆積年代の推定法について：

**$^{137}\text{Cs}$ ：**半減期 30 年の人工放射性核種であり、1952 年以降に盛んになった大気圏内核実験により環境中に拡散した。1963 年に部分的核実験禁止条約が締結されたことで、この年を境に  $^{137}\text{Cs}$  濃度は減衰に転じたため、陸上土壌や海洋堆積物中の  $^{137}\text{Cs}$  鉛直分布には 1963 年に該当する層が濃度ピークとして現れる。1986 年チヨルノーベリ原子力発電所事故、2011 年福島第一原子力発電所によっても、短期的に高濃度の  $^{137}\text{Cs}$  負荷が発生したことから、これらの  $^{137}\text{Cs}$  放出イベントが年代マーカーとなっている。

**$^{210}\text{Pb}$ ：**岩石・土壌中に含まれる  $^{226}\text{Ra}$  は  $\alpha$  壊変により気体の  $^{222}\text{Rn}$  を生成する。 $^{210}\text{Pb}$  は、大気中に拡散された  $^{222}\text{Rn}$  から中間核種を経て生成される。 $^{210}\text{Pb}$  は大気粒子に容易に取り込まれ、海底に沈積していく。 $^{210}\text{Pb}$  濃度は、一定の  $^{210}\text{Pb}$  フラックスと堆積速度を仮定した場合、鉱物中からウラン系列種から生成される  $^{210}\text{Pb}$  を差し引けば、埋没時間に応じて指数関数的に減少する。この原理を用いることで、約 150 年以内の年代を堆積速度から推定することができる (Moernaut et al., 2017; Hunter et al., 2023)。

### 2-2-3. 硫化物が深海生物に与えた影響の調査

富山県水産研究所の調査結果 (2025) によると、富山湾の複数の地点において、地震による表層堆積物の流失で、深い層にあった堆積物が露出し、生物の生息に悪影響を与える硫化物の濃度が表層堆積物中で高くなったことが報告されている。ベニズワイ漁がおこなわれている場所でも、海底地すべりの痕跡が確認されていることから (富山県水産研究所, 2025)、ベニズワイなどの深海生物が堆積物に含まれる硫化物から受ける影響が懸念されている。

そこで、深海生物が地震後の堆積物から受けた影響を把握するために、生物試料に対して硫黄安定同位体比 ( $\delta^{34}\text{S}$ ) 測定を実施した。 $\delta^{34}\text{S}$  は酸化的環境と還元的環境で異なる値を示すことが多く (Peterson et al., 1985)、かつ栄養段階間の分別係数も小さいため (McCutchan et al., 2003)、食物連鎖での硫黄化合物の動態を明らかにすることに適している。

ベニズワイを含む深海生物の  $\delta^{34}\text{S}$  は、生物の筋肉試料を用いて EA-IRMS で測定を行った (測定精度:  $\delta^{34}\text{S} = \pm 0.25 \text{ ‰}$ )。

#### 2-2-4. 令和6年能登半島地震に伴う深海生物の餌資源・底質変化の評価

地震前後の測定結果を比較し、ベニズワイガニをはじめとした深海生物の餌源の変化の有無を推定した。また、地震前後における底質の堆積構造から、生息域周辺海底環境がどのように変化したのかを調査する。最終的に、地震に伴って発生した海底地すべりなどのイベントが深海生物の食物環境に与えた影響を評価する。

### 3. 結果・考察

#### 3-1. ベニズワイガニの食性および深海食物網

富山湾中央部で漁獲されたベニズワイ 81 個体 (甲幅: 8.4~116.2 mm) に対して行った胃内容物調査の結果、1 種類以上の餌生物が特定できたものは 74.1 %、空胃個体が 13.6 %、胃内容物は認められるが生物種が特定できない個体が全体の 12.3 %であった。胃中で観察された餌生物の形状としては、カニ類は甲殻の一部、イカ類は未消化の肉片、魚類は小魚のものとみられる小骨や脊椎骨、バイ類は殻とみられるものが観察された。各餌生物種の出現頻度をサイズ別にみたところ、甲幅 20 mm 以下の個体では、バイ類の出現頻度 (78.5 %) が最も高かった。甲幅 20~60 mm の個体では、バイ類の出現頻度 (68.4 %) が一番高かったが、魚類の出現頻度 (63.2 %) も高くなった。甲幅 60 mm 以上の個体では、魚類の出現頻度 (65.2 %) が最も高く、バイ類の出現頻度 (8.7 %) は極端に低くなった。このことから、ベニズワイは成長と共に、主要な餌がバイ類から魚類へと変化することが示唆された。ベニズワイにおいて、体サイズの大きさに捕食する餌が変化することが確認されたのは、今回が初めてである。ベニズワイの近縁種であるズワイガニでは、成長に伴う鉗脚 (かんきやく: カニ類のハサミのこと) の大きさの変化によって餌の利用可能性が変化することが確認されている (Squires and Dawe., 2003, Kolts et al., 2013)。ベニズワイにおいても成長に伴う鉗脚の大きさの変化が、捕食する餌の変化を促していることが考えられる。

平均的な餌の記録を反映するベニズワイの  $\delta^{13}\text{C}$ ・ $\delta^{15}\text{N}$  は、それぞれ  $\delta^{13}\text{C}$  は -18.3~-16.8 ‰、 $\delta^{15}\text{N}$  は 11.7~13.7 ‰の範囲で変動した。どちらも成長に伴って同位体比が有意に上昇する傾向 ( $p < 0.01$ ) が認められ、特に  $\delta^{13}\text{C}$  において明瞭であった。 $\delta^{15}\text{N}$  の変動は、2 ‰以内で、1 栄養段階に相当する 2.3~4.5 ‰より小さいことから、成長しても栄養段階の位置は変化しないことが示唆される。一方で、 $\delta^{13}\text{C}$  は 1.5 ‰と 1 栄養段階 (1 ‰) を超え

る変動であった。この結果は、成長とともに餌源が変化することを示すだけでなく、 $\delta^{15}\text{N}$ の結果を踏まえると、ベニズワイが捕食する低次消費者が重い $\delta^{13}\text{C}$ をもつ種へシフトしたことを示唆する。

ベニズワイの食物網の位置とそこから推定される餌源を決定するため、ベニズワイの生息域で獲れた深海生物などとともに CN マップで示した (図 2)。図から、ベニズワイが沈降粒子を基底とする食物連鎖上 ( $\text{C}:\text{N} = 1:3.4$ ) に位置し、3 次消費者に属することが分かる。2 次消費者の位置には、表層魚類がプロットされることから、主要な餌源であることを示唆する。これは、胃内容物の結果からも支持される。一方で、深海魚類は、ベニズワイとの行動範囲が物理的に近いにもかかわらず、ベニズワイよりも高い栄養段階に位置し、餌源としての寄与は小さいと考えられる。以上のことから、ベニズワイは主に表層から落ちてくる表層魚類を捕食していることが考えられた。しかし、今回の調査からはどのような魚種を捕食しているかは明らかにならなかったため、来年度明らかにしていく予定である。胃内容物調査と整合的であった魚類とは対照に、バイ類は、ベニズワイと栄養段階が近いいため、サイズに関わらず餌源としての高い寄与を説明することはできない。この相違は、バイ類が栄養源以外の用途で捕食されている (例えば、カルシウム源としての摂取) と解釈すると解決されるかもしれないが、今後取り組むべき課題である。少なくとも、成長に伴った餌源の変化にバイ類は寄与していない可能性が高い。CN マップからの 1 つの単純な推測は、捕食対象の表層魚類が変化したということである。しかしながら、この結論に導くには、死骸の種類は選択的でないこと、表層魚類間の同位体比の変動要因が明確でないこと、などの課題が残っている。

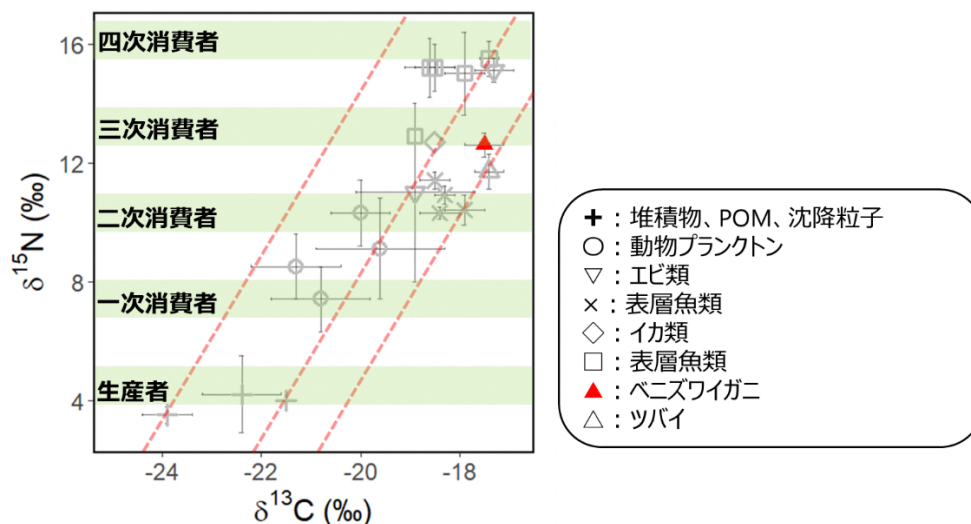


図 2. 深海生物の  $\delta^{13}\text{C} \cdot \delta^{15}\text{N}$

赤い線は食物連鎖を表す ( $\text{C}:\text{N} = 1:3.4$ )

表層魚類はアジ類、サバ類、イワシ類、ブリのデータを使用 (大塚 未発表., 2016)

### 3-2. 深海生物の生息域周辺における底質調査

地震後の黒部川沖では、8cm の堆積物が得られた。下位は中礫を含む中粒砂の塊状で、最上部は粗粒シルトが重なる（図 3 -E, F）。平均粒径は、 $223\mu\text{m}$  である。一方で、地震以前は、全体に生物擾乱の発達したシルト質砂である（図 3 -D）。平均粒径は、 $65\mu\text{m}$  で、主モードが  $100\mu\text{m}$ 、最上位 0-1cm のみバイモーダルな粒度分布を示し、副モード  $13\mu\text{m}$  である。常願寺川沖では、長さ 28cm の堆積物が得られた。下位が粘土質シルトで明瞭な境界をもち、この上位に約 10cm の砂層を挟んで、最上位は粘土質シルトで構成されるのが特徴である（図 3 -B, C）。深度 10.5-6.5cm では、下位の細礫を含む砂から砂質シルトに上方細粒化を示し、上に植物片を多量に含む。その上位の深度 4.5cm では、再び砂層となり、最上位の粘土質シルトまで上方細粒化する。10.5cm の砂層直下には、生痕が複数認められる。平均粒径は、深度 10.5-6.5cm で  $213\mu\text{m}$ 、10.5cm 下位では、 $17\mu\text{m}$  である。対して、地震以前は、全体に生物擾乱の発達したシルト質砂であり（図 3 -A）、平均粒径は、地震後の 10.5cm 下位と概ね一致する（ $14\mu\text{m}$ ）。

地震以前の黒部川沖堆積物中の  $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$  と  $^{137}\text{Cs}$  はそれぞれ、 $31.0\sim 364\text{Bq/kg}$ 、 $1.8\sim 3.9\text{Bq/kg}$  の間で変動し、検出限界以下の値には到達しなかった（図 4）。 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$  の最大値は最表層にあり、下位には深度 7cm で極大が認められる。その下部からは指数関数的に減少した。対照的に、 $^{137}\text{Cs}$  は深度に伴って上昇し、最大値は試料の最下部で検出されるのが特徴である。地震後の常願寺川沖堆積物中の  $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$  と  $^{137}\text{Cs}$  は、9cm より下位では検出限界以下であった（図 4）。どちらも最大値は最表層で認められ、2.9 と  $448\text{Bq/kg}$  の値であった。

地震後に採取された堆積物は、上位の地震以前よりも粗粒な砂質堆積物で特徴づけられる。黒部川沖の堆積物は、8cm 以深を採取することはできなかったが、地震以前と同様な底質の堆積物は認められなかった。生痕がなく、塊状な特徴は、最近に短期間で堆積した可能性が考えられる。常願寺川の堆積物は、下部が粘土質シルトで、明瞭な境界面をもって砂が重なる。砂の上位では、粒度の急速な粗粒化と、その後の上方細粒化が認められ、タービダイトの特徴を捉えている (Mulder et al., 2003)。中間に多量の植物片を含む様式から、はじめに粗粒砂が堆積し、次いで細粒砂や比重の小さい材片が堆積したことがわかる。植物片が認められることは、陸域あるいは陸域に近い堆積物の供給を受けたことを示唆する。採泥点の上流部は、地震後に、かに籠漁具の流出や深層水取水管の切断が報告された場所に当たることから (富山県水産研究所, 2025)、斜面崩壊による海底変化を捉えたものである可能性が高い。

地震以前の黒部川沖において、採取深度内で  $^{210}\text{Pb}$  と  $^{137}\text{Cs}$  が検出限界に達しなかったことは、地震以前から堆積速度が速い地域であったことを示している。1983 年から実施されている日本海の表層海底土中  $^{137}\text{Cs}$  のモニタリング結果によると、大気圏内核実験後に残存した  $^{137}\text{Cs}$  は、試料採取時の 2023 年には  $2\sim 5\text{Bq/kg}$  以下まで減少していると推計される (Oikawa et al., 2013)。従って、 $^{137}\text{Cs}$  の深度に伴う上昇は、1963 年に対応する濃度極大が採取深度以深にあり、堆積物全体が少なくとも 1963 年以内に堆積したことを示唆する。Plum

$^{210}\text{Pb}$  ベイズ年代モデルを適用した結果、堆積物全体を通して、堆積年代を狭い誤差範囲で推定することができた(図4)。最下部の推定年代は、 $1964 \pm 3$  年となり、 $^{137}\text{Cs}$  濃度が下位に向かって上昇することと整合的である。堆積速度は、 $0.43 \pm 0.1 \text{ cm/yr}$  となり、この地域周辺の報告値 ( $0.25 \sim 0.53 \text{ cm/yr}$ ) と一致した(第54回黒部川ダム排砂評価委員会, 2021)。このことから、2024年認められた明らかに前年と異なる砂層は、平均堆積速度  $0.43 \text{ cm/yr}$  を遥かに上回って、短期的に堆積したことが明らかになった。

地震後の常願寺川沖の  $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$  と  $^{137}\text{Cs}$  が検出された層は、タービダイトを含む  $10 \text{ cm}$  より上位であり、下位の粘土質シルト層では、いずれも検出されていない(図4)。2で述べたように、 $^{137}\text{Cs}$  の海底への蓄積は1950年頃から始まり、 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$  は、150年未満の堆積物からしか検出されないことを述べた(Moernaut et al., 2017)。従って、このような鉛直プロファイルは、濁流に伴って地震以前の表層堆積物が浸食され、さらに沖合へ流出したと解釈するのが妥当である。逆に、粗粒なタービダイト層に  $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$  と  $^{137}\text{Cs}$  が含まれることは、上流側で細粒を含む表層堆積物を巻込んできたことを意味する。地震以前の黒部川沖から得られた堆積速度に基づいて、150年分に相当する堆積物の長さを計算すると  $54 \sim 83 \text{ cm}$  と推定されることから、富山県東部でもかなり大規模に斜面崩壊が生じたことが考えられる。 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$  と  $^{137}\text{Cs}$  のインベントリは、 $1.8 \text{ Bq/cm}^2$ 、 $0.012 \text{ Bq/cm}^2$  であったが、この地域の平均的な大気沈着によって要求される  $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$  のインベントリ  $2.7 \text{ Bq/m}^2$  よりも30%程度低い(Ochiai et al., 2022)。この結果は、除去効果、すなわち斜面崩壊によって堆積物が流出したという見解を支持している。

以上は、2024年能登半島地震以降に、富山県東部でも大規模な海底地すべりが発生し、底質が変化したことを示唆する結果である。少なくともこの地域では、表層堆積物は、数  $10 \text{ cm}$  に渡って、泥質から砂質に変化し、浸食された泥はさらに沖合へと運ばれたと考えられる。このような瞬間的な堆積は、底生生物の埋没させた可能性がある。また、乱泥流による表層堆積物の浸食は、古い堆積物の露出を引き起こし、地震後に発生した全硫化物量の上昇やマクロベントスの減少の要因となったと考えられる(富山県水産研究所, 2025)。

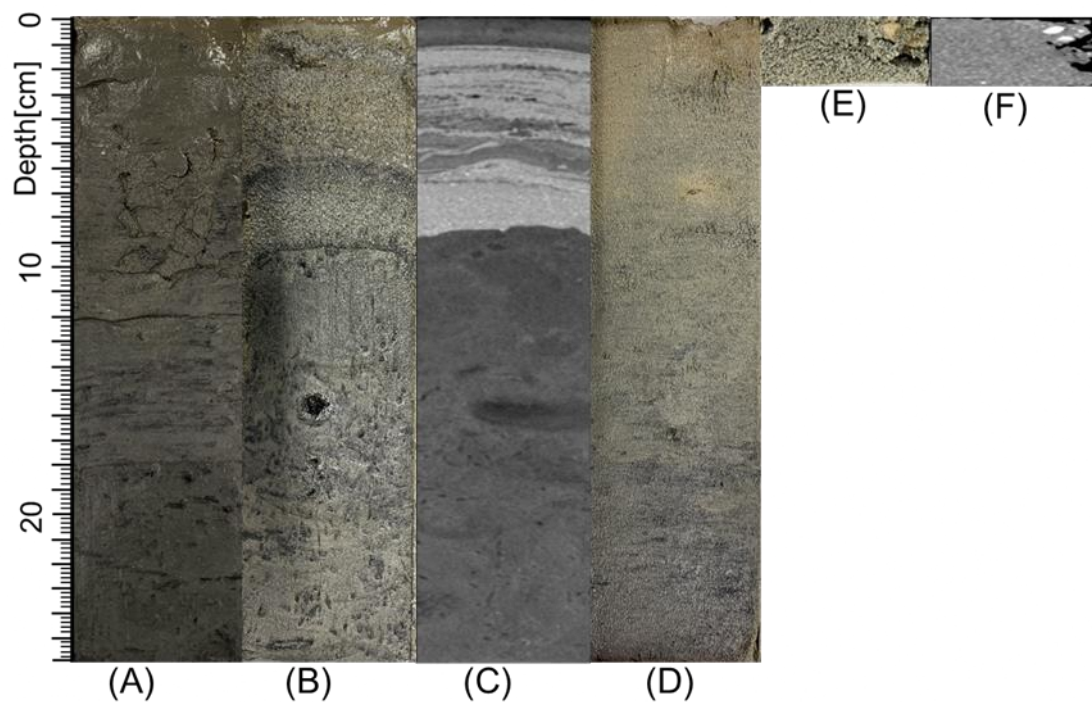


図3．海底堆積物の半断面写真と X 線 CT 装置撮影に得られた断面画像  
常願寺川沖の海底堆積物(A)2021 年 5 月、(B)2024 年 5 月、(C)2024 年 5 月、X 線 CT、  
黒部川沖の海底堆積物(D)2023 年 5 月、(E)2024 年 5 月、(F)2024 年 5 月、X 線 CT

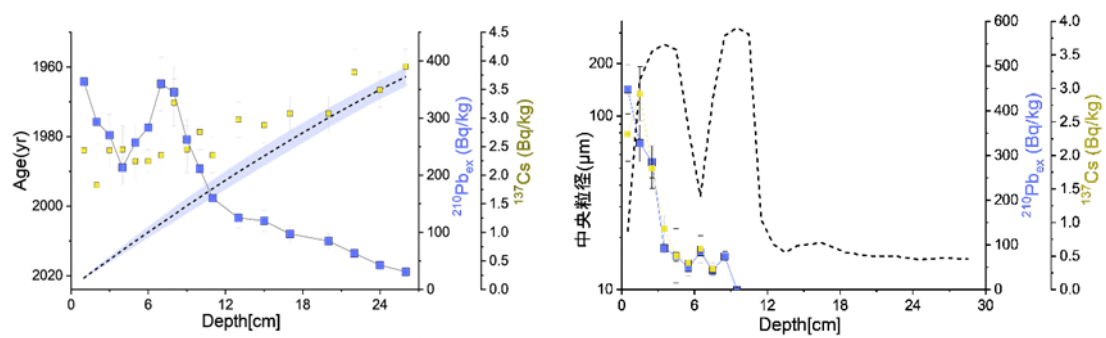


図4．黒部川沖（2023年、左）と常願寺川沖（2024年、右）堆積物中の  $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$  と  $^{137}\text{Cs}$  濃度の深度プロファイル。破線は、黒部川沖が、Plum  $^{210}\text{Pb}$  ベイズ年代モデルに基づく推定年代値を（青色の背景色で誤差範囲を示す。）、常願寺川沖が、中央粒径（ $\mu\text{m}$ ）を示している。

### 3-3. 深海生物の $\delta^{34}\text{S}$

地震後の海底地すべりによって硫化物を多く含む古い堆積物が露出したことで、海底下の硫酸還元反応により生成された  $\text{H}_2\text{S}$  の放出や元素硫黄・硫化鉄などの沈殿が露呈した可能性がある。一般的に、これらの形成過程では、海水/間隙水中の硫酸から軽い  $^{32}\text{S}$  が優先的に利用され生成物に濃縮するため、低い  $\delta^{34}\text{S}$  を示す。

富山湾に生息する深海生物の  $\delta^{34}\text{S}$  は、すべての生物において、地震前後の有意な変化は確認されなかった。多くの生物では、おおむね 17-19 ‰ の値をとり、富山湾の底層海水 (21.4  $\pm$  0.04 ‰) よりも低かった。これは海水中の硫酸を同化する際に、 $^{32}\text{S}$  が優先的に取り込まれるためで、硫酸由来とされる海産動物の同位体比 15-20 ‰ の範囲内であった (Fry., 1988)。このことから、本海域のほとんどの深海生物は、堆積物からではなく、海水中から硫黄化合物を取り込んでいると考えられる。

一方で、ベニズワイとクロザコエビは、それぞれ、14.0-16.8 ‰、11.1-12.6 ‰ と低い  $\delta^{34}\text{S}$  値を示した。この結果は、これら 2 種が軽い  $\delta^{34}\text{S}$  をもつ硫黄化合物を取り込んでいることを示唆しており、堆積物粒子に含まれた硫黄化合物を摂取していることが考えられる。今回、地震前後で  $\delta^{34}\text{S}$  の変化が認められなかったが、3-4. で記述する深海生物の餌源変化がなかったことを考慮すると、ベニズワイは底質が改変した環境から逃避し、餌場を変えたという推測ができる。

### 3-4. 令和 6 年能登半島地震に伴う深海生物の餌資源変化の評価

地震前後である 2023 年と 2024 年に朝日町沖で漁獲された甲幅 90 mm 以上のベニズワイの  $\delta^{13}\text{C}$  を測定した結果、地震前は -17.7 ~ -16.3 ‰ (平均値: -16.9 ‰) で、地震後は -17.6 ~ -16.4 ‰ (平均値: -17.0 ‰) となり、 $\delta^{13}\text{C}$  における平均値の差の検定を行ったところ、地震前後で  $\delta^{13}\text{C}$  に有意な差は認められなかった ( $t=1.30$ ,  $df=67$ ,  $ns$ )。また、 $\delta^{15}\text{N}$  を測定した結果、地震前は 12.2 ~ 14.4 ‰ (平均値: 13.1 ‰) で、地震後は 12.4 ~ 14.9 ‰ (平均値: 13.4 ‰) となり、 $\delta^{15}\text{N}$  における平均値の差の検定を行ったところ、 $\delta^{15}\text{N}$  においても地震前後で有意な差は認められなかった ( $t=-1.53$ ,  $df=67$ ,  $ns$ )。

以上、地震前後で  $\delta^{13}\text{C}$ ・ $\delta^{15}\text{N}$  に変動がほぼ認められなかったことから、ベニズワイは震前後で捕食する餌はほぼ変化しなかったことが示唆された。

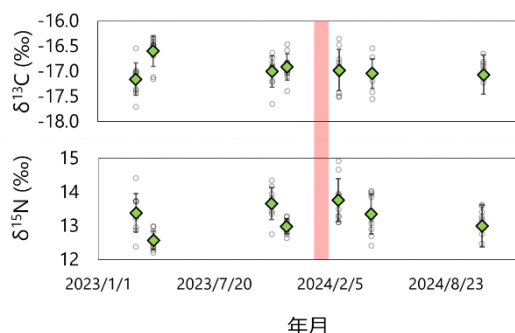


図 5. ベニズワイガニの  $\delta^{13}\text{C}$ ・ $\delta^{15}\text{N}$  の時系列変化 赤ラインは地震の発生時期を表す

また、ベニズワイ以外の深海生物で、地震前後における  $\delta^{13}\text{C} \cdot \delta^{15}\text{N}$  の平均値の差の検定を行ったところ、すべての生物で地震前後に  $\delta^{13}\text{C} \cdot \delta^{15}\text{N}$  の有意な差は認められなかった。このことから、地震前後において、深海生物の捕食・被食関係は変わらず、深海食物網の構造に大きな変化はみられなかったと考えられる。

富山県水産研究所のベニズワイ資源状態の調査結果（2025）によると、富山湾中央部で行われた桁網調査において、甲幅 40 mm 以下のベニズワイが雌雄ともに生息密度が過去 10 年平均の 26 % にまで減少していた。また、成体雌の生息密度については 6 % にまで激減していた。乱泥流の発生により海底環境が悪化したことで、ベニズワイが逃避・減耗した可能性が考えられている。

このように、資源状態に甚大な影響があったベニズワイだが、今回の同位体比による結果では、地震前後でベニズワイを含む深海食物網には大きな変化は見られなかった。その要因として、3-1.で前述したように、ベニズワイやほかの深海生物は表層魚類やプランクトン類などの表層生物を餌源として頼っているためだと考えられる。現在のところ、表層魚類や表層のプランクトンが地震によって甚大な影響を受けたという報告は確認されていない。よって、海底に生息し、地震によって甚大な影響を受けたベニズワイではあるが、餌は地震の影響をあまり受けていない表層生物に支えられているため、餌資源に変化がなかったと考えられる。

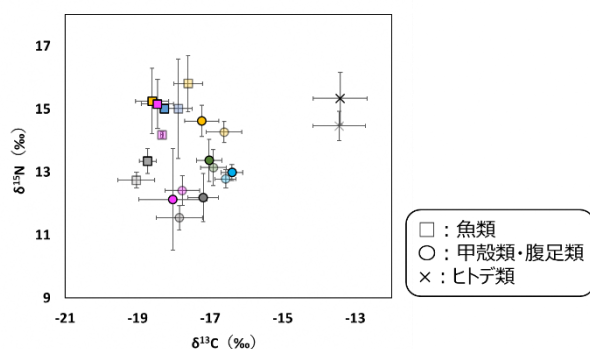


図 6. 地震前後の深海生物の  $\delta^{13}\text{C} \cdot \delta^{15}\text{N}$   
薄い色は 2023 年、濃い色は 2024 年のデータ

#### 4. まとめ・来年度に向けた展望

- 胃内容物と  $\delta^{13}\text{C} \cdot \delta^{15}\text{N}$  の結果から、富山湾のベニズワイの主要な餌は表層魚類であることが推察された。
- 常願寺川沖と黒部川沖で採取された表層堆積物は数 10cm に渡って、泥質から砂質に変化し、地震以降に、富山県東部で大規模な海底地すべりが発生し、底質が変化したことを示唆し、底生生物の生息に影響を与えたと考えられる。
- ベニズワイをはじめとした深海生物は、地震前後で捕食する餌にほぼ変化はなく、深海食物網の構造に大きな変化は確認されなかった。これは、深海生物が表層の生物に餌源

を頼っているためだと考えられる。

来年度は、今年度と同様の調査を行うことで、ベニズワイの資源回復状況によって、深海食物網がどのように変化するのか、詳細に明らかにしていく予定である。また、今年度は十分解明することのできなかったベニズワイが捕食している魚類の種類の特定、バイ類の餌としての重要性、一部底生生物の低い  $\delta^{34}\text{S}$  の原因などについて追究していき、より明確に深海食物網を把握することを目指す。

### 【本研究における 2024 年度成果物】

国内学会・研究集会等

三神崇重, 張勁, 三箇真弘, 稲村修、胃内容物と同位体比から推定したベニズワイガニの成長に伴う食性変化、2024 年度水産海洋学会研究発表大会、静岡、2024 年 11 月。(口頭発表)

### 【参考文献】

1. Appleby, P. G. (2002). Chronostratigraphic Techniques in Recent Sediments. *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments*, 171–203. [https://doi.org/10.1007/0-306-47669-X\\_9](https://doi.org/10.1007/0-306-47669-X_9)
2. Appleby, P. G., & Oldfield, F. (1978). The calculation of lead-210 dates assuming a constant rate of supply of unsupported  $^{210}\text{Pb}$  to the sediment. *CATENA*, 5(1), 1–8. [https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(78\)80002-2](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(78)80002-2)
3. Aquino-L ´ Opez, M. A., Blaauw, M., Christen, J. A., & Sanderson, N. K. (2018). *Bayesian Analysis of  $^{210}\text{Pb}$  Dating*. <https://doi.org/10.1007/s13253-018-0328-7>
4. B.Fry. (1988). Food web structure on Georges Bank from stable C, N, and S isotopic compositions. *Limnol. Oceanogr*, 33 (1988) 1182–1190. <https://doi.org/10.4319/lo.1988.33.5.1182>.
5. DeNiro and Epstein (1978). Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals. *Geochim Cosmochim. Acta*, 42, 495-506. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(78\)90199-0](https://doi.org/10.1016/0016-7037(78)90199-0)
6. Hunter, H. N., Gowing, C. J. B., Marriott, A. L., Lacey, J. H., Dowell, S., & Watts, M. J. (2023). Developments in Pb-210 methodologies to provide chronologies for environmental change. *Environmental Geochemistry and Health*, 45(4). <https://doi.org/10.1007/s10653-022-01215-x>
7. Hynes, H.B. (1950). The food of fresh-water sticklebacks (*Gasterosteus aculeatus* and *Pygosteus pungitius*), with a review of methods used in studies of the food of fishes. *J. Animal Ecol.*, 19: 36-58. <https://doi.org/10.2307/1570>
8. James H. McCutchan Jr, William M. Lewis Jr, Carol Kendall & Claire C. McGrath. (2003). Variation in trophic shift for stable isotope ratios of carbon, nitrogen, and sulfur. *Oikos*, 102: 378-390. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0706.2003.12098.x>
9. Kolts, J.M., Lovvorn, J.R., North, C.A., Grebmeier, J.M., Cooper, L.W. (2013). Effects of body size,

- gender, and prey availability on diets of snow crabs in the northern Bering Sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 483, 209–220. <https://doi.org/10.3354/meps10292>
10. Minagawa and wada. (1984). Stepwise enrichment of  $^{15}\text{N}$  along food chains: Further evidence and the relation between  $\delta^{15}\text{N}$  and animal age. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 48, 1135–1149. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(84\)90204-7](https://doi.org/10.1016/0016-7037(84)90204-7)
  11. Moernaut, J., Van Daele, M., Strasser, M., Clare, M. A., Heirman, K., Viel, M., Cardenas, J., Kilian, R., Ladrón de Guevara, B., Pino, M., Urrutia, R., & De Batist, M. (2017). Lacustrine turbidites produced by surficial slope sediment remobilization: A mechanism for continuous and sensitive turbidite paleoseismic records. *Marine Geology*, 384. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2015.10.009>
  12. Mulder, T., Syvitski, J. P. M., Migeon, S., Faugères, J. C., & Savoye, B. (2003). Marine hyperpynal flows: initiation, behavior and related deposits. A review. *Marine and Petroleum Geology*, 20(6–8), 861–882. <https://doi.org/10.1016/J.MARPETGEO.2003.01.003>
  13. Ochiai, S., Fujita, A., Tokunari, T., Sakai, H., & Nagao, S. (2022). DISTRIBUTIONS OF  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  AND PHYSICAL PROPERTIES IN BOTTOM SEDIMENTS OF WEST NANA O BAY, JAPAN. *Radiation Protection Dosimetry*, 198(13–15), 1058–1065. <https://doi.org/10.1093/RPD/NCAC053>
  14. Oikawa, S., Watabe, T., Takata, H., Suzuki, C., Nakahara, M., & Misonoo, J. (2013). 日本周辺の海水、海底土、海産生物に含まれる  $^{90}\text{Sr}$ 及び $^{137}\text{Cs}$ 濃度の長期的推移 —チェルノブイリ事故前から福島第一原子力発電所事故後まで—. *分析化学*, 62(6), 455–474. <https://doi.org/10.2116/BUNSEKIKAGAKU.62.455>
  15. Peterson BJ, Howarth RW, Garritt RH. (1985) . Multiple stable isotopes used to trace the flow of organic matter in estuarine food webs. *Science*, 227: 1361–1363. <https://doi.org/10.1126/science.227.4692.1361>
  16. Squires HJ, Dawe EG. (2003) Stomach Contents of Snow Crab (*Chionoecetes opilio*, Decapoda, Brachyura) from the Northeast Newfoundland Shelf. *Journal of Northwest Atlantic Fishery Science*, 32: 27–28. <https://doi.org/10.2960/j.v32.a2>
  17. 富山県水産研究所. (2025). 能登半島地震による水産資源への影響調査結果（とりまとめ）. <https://www.pref.toyama.jp/documents/46424/20250321torimatome-3.pdf>
  18. 第54回黒部川ダム排砂評価委員会. (2021). 令和2年度 深海底質調査の実施結果について. <https://www.hrr.mlit.go.jp/kurobe/54iinkai/image/pdf/s3.pdf>
  19. 浜野龍夫 (2005). シャコの生物学と資源管理. 水産研究叢書 51, 日本水産資源保護協会, 東京. 208pp.