

《公開講座》

海藻が教えてくれた

——原発事故からの海の復活——

佐々木 秀明

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東日本大震災に伴った福島第一原子力発電所事故により、環境中に大量の放射性物質が放出された。環境中に放出された放射性物質は、5～10ベタベクレル（ベタは 10^{15} ）と推定されている¹⁾。この内、海洋に汚染水として流出した量は3～6ベタベクレルとされる。放射性物質による生態系への影響は事故発生当初から懸念され、海洋環境中における放射性物質の動態の把握と、除去が喫緊の課題となった。

原子力発電所事故に伴った放射性物質の流出事例として1986年4月に発生した旧ソビエト連邦のチェルノブイリ原子力発電所事故がある。福島第一原発事故直後、チェルノブイリにおける経験則から多くの対策が講じられたが、同発電所は現ウクライナの北部に位置し、海洋には面していない。そのため、放射性物質による汚染は陸域が中心であり、事故後に得られた知見の多くは陸域環境汚染に関するものである。そのため、福島第一原子力発電所事故による海洋汚染への対応は手探りの状況であった。

福島県沖をはじめとする東日本太平洋沿岸は全国有数の漁場であり、汚染水による水産物への影響が最大限に懸念された。国や各都道府県の研究機関は事故直後から水産資源を対象とした調査を開始し、3月下旬には千葉県沖や房総沖で採取された魚介類の調査結果が報告された。この時期の調査対象は、日頃から我々の食卓に並ぶイワシ、サバ、スズキ等の魚類が中心であり、それ以外の生物に関しては事故から数ヶ月経ってから報告される様になった。そのような生物の一つが海藻類である。

2. 海藻は海水環境を反映する

沿岸部において太陽光が十分に透入する浅海部には、岩礁などに着生して生活を行う海藻類が生育している。海藻類は海洋生態系において現存量から見ても大きな位置を占めており、光合成を行う一次生産者として、また食物連鎖における動物の栄養供給源として、大きな役割を担っている。海藻は海洋に生育する大型の藻類の総称であり、含有する光合成色素の違いから紅藻、アオサ藻、

褐藻の3グループに大別される。紅藻は約800種、アオサ藻は約250種、褐藻は約400種が日本に分布しており、多種多様な海藻が沿岸において海の森である藻場を形成している。

海藻類は根を持たず、生長時に海藻表面から海水中に溶け込んでいる栄養塩類や無機物を直接吸収する。これまでの研究から、海藻は金属イオンを藻体内に蓄積する性質を持つことが知られており、海藻から金属イオンを分離し、その濃度を測定することで、その海藻が生育する場所の海水中の金属イオン濃度を推定することができる。海藻は着生生活を行い動物の様に移動しないこと、生長速度が速く藻体内の金属イオン濃度は短期の海水の状況反映すること、また生態系における一次生産者であるため生物濃縮による影響を受けないこと等から、沿岸域における海水中の金属イオン濃度をモニタリングする生物種として適していると言える。

3. いわき市沿岸でのモニタリング

2011年5月に福島第一原発から50キロ圏にあたるいわき市永崎地先において調査を行った。永崎地区は地震によって生じた5メートルの津波に襲われ、沿岸地域の住宅群に大きな被害が生じた(図1)。また、約50センチ程度の地盤沈下が生じ、春の大潮の干潮時に海底が露出する場所も海面下のままであった。海水面の変化は海藻の生育に大きく影響することから、沿岸域の生態系に変化が生じる可能性が推測された²⁾。



図1 福島県いわき市永崎地先：福島第一原子力発電所より52km

海藻類の海洋環境中に流出した放射性物質による汚染状況であるが、採集された海藻類のセシウム137の放射能濃度は乾燥重量1キログラムあたり600～6,000ベクレルと、種類を問わず高い値が検出された。この時に海水中からセシウム137が約9ベクレル検出され、海藻による濃縮率は最高で650倍程度と高い値を示した。海藻で得られた値は乾燥重量あたりなので、実際に食す生の状態では値が10分の一程度となる。

海藻の放射能濃度は、その後6ヶ月程の間に著しく減少した。2011年7月には採取された海藻のセシウム137の放射能濃度は200～1,400ベクレル、10月には40～500ベクレルまで減少した。その後、2012年4月には20～230ベクレル、7月には検出限界値以下～250ベクレルと検出される放射性物質の放射能濃度は下げ止まる傾向が見られたが、9月には検出限界値以下～100ベクレル、12月には検出限界値以下～50ベクレルと非検出の海藻種も多く見られるようになった。2014年3月にはセシウム137が検出される多くの種が放射能濃度30ベクレル以下となり、2015年2月にはほとんどの種が検出限界値以下となった。なお、事故前の2010年4月に採集された海藻からは放射性セシウムは検出されていない。

全国に広く分布し生物量も多い一般種であるアオサ藻アナオサ (*Ulva australis*) を例にみると、藻体のセシウム137の放射能濃度は2011年5月に3,420ベクレル、7月に215ベクレル、12月に50ベクレル、2012年4月に80ベクレル、7月に24ベクレルと時間を経るごとに減少し、2012年12月には検出限界値以下となった(図2)。事故後、早い段階で海藻が放射性セシウム含有の基準値(1キログラムあたり生重量で500ベクレル、2012年4月より100ベクレル)以下になったことが解る。海水中のセシウム137は2011年7月の時点で検出限界値以下であった。これは使用した分析機器の性能の限界のためであり、実際は微量な放射性セシウムが含有していたと推測される。海藻による放射性セシウムの濃縮率を500倍程度とすると、1リットルあたり0.4～2.8ベクレル程度含まれていたと計算される。同様に、10月では海水中のセシウム137は0.08～1.0ベクレルとなる。海藻を通して通常の分析機器では検出できない微量な海水中の放射性セシウムが測定可能となることから、本手法の新たなモニタリング技術としての利用が期待される。

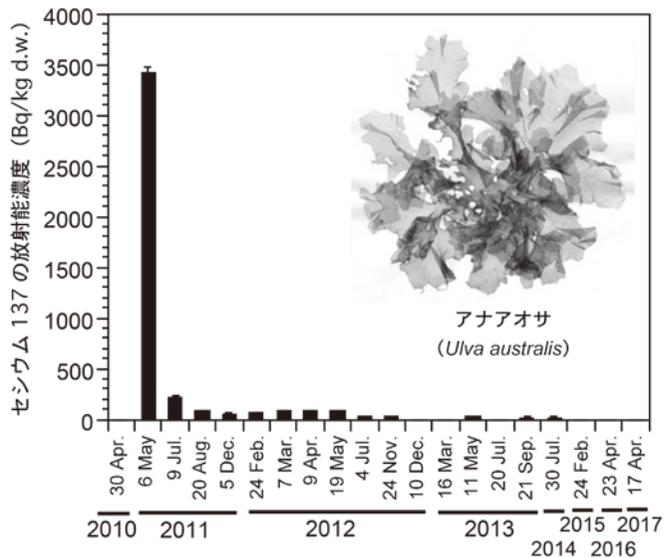


図2 福島県いわき市永崎地先に生育するアオサ藻アナオサのセシウム137の放射能濃度の経時変化

4. 福島第一原発からの距離と蓄積量との関係

2012年春季(3月～6月)、汚染源である福島第一原子力発電所からの距離と海藻類の放射能濃度との関係を調査したところ、いわき市久之浜ではセシウム137は60～1000ベクレル、いわき市勿来では25～250ベクレル、日立市会瀬では25～120ベクレルの放射能濃度を示し、汚染源に近い地域において高い放射能濃度を示すことが示唆された。一方、2014年春季(3月および4月)においては、広野町浅見川では検出限界値以下～60ベクレル、いわき市久ノ浜では検出限界値以下～250ベクレル、いわき市塩屋崎では検出限界値以下～320ベクレルであり、汚染源との距離との関係性は観察されなかった。

アオサ藻アナアオサを例にみると、2012年春季において、いわき市久之浜ではセシウム137は450ベクレル、いわき市勿来では250ベクレル、日立市会瀬では30ベクレルの放射能濃度を示し、多くの海藻類同様に汚染源に近い地域において高い放射能濃度を示した(図3)。一方、2014年春季においては、広野町浅見川では60ベクレル、いわき市久ノ浜では110ベクレル、いわき市塩屋崎では15ベクレル、いわき市勿来では50ベクレルを示した。また、2017年春季においては、いわき市久ノ浜では11ベクレル、いわき市塩屋崎では検出限界値以下、いわき市勿来では34ベクレルを示し、汚染源との距離との関係性は観察されなかった。

放射性物質の環境流出直後は福島原子力発電所との距離が重要な要因である

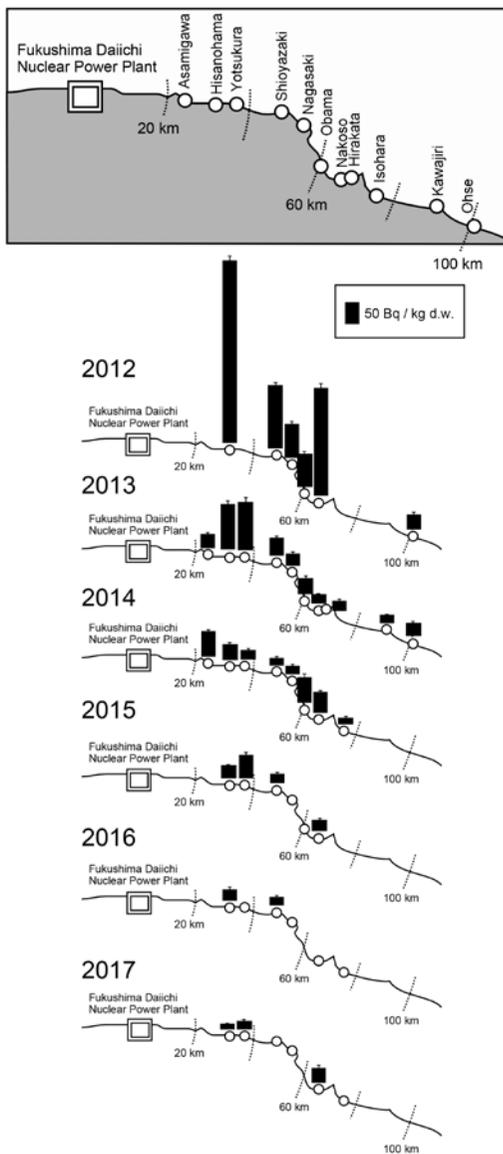


図3 福島第一原子力発電所からの距離とアオサ藻アナアオサのセシウム137蓄積量との関係

- Asamigawa: 福島県広野町浅見川
(福島第一原発より25km)
- Hisanohama: 福島県いわき市久之浜 (30km)
- Yotsukura: 福島県いわき市四倉 (35km)
- Shioyazaki: 福島県いわき市塩屋崎 (47km)
- Nagasaki: 福島県いわき市永崎 (52km)
- Obama: 福島県いわき市小浜 (60km)
- Nakoso: 福島県いわき市勿来 (66km)
- Hirakata: 茨城県北茨城市平湯 (67km)
- Isohara: 茨城県北茨城市磯原 (74km)
- Kawajiri: 茨城県日立市川尻 (90km)
- Ohse: 茨城県日立市会瀬 (100km)

が、時間が経過するにつれて、沿岸の地形が汚染源からの距離より大きな要因となっていると思われる。流出から相当の時間経過後にもセシウム137が検出される場所は、港湾内のような海水が滞留しやすく、海藻類の生育場所に汚泥が蓄積されやすいという特徴があるようだ。

5. 福島の海の復興

福島県では福島原子力発電所事故後の2012年6月に開始された漁業の試験操業を2021年3月をもって終了し、本格操業へと移行を開始した。水揚げされる海産物も2015年4月以降全ての検体で放射性セシウム含有の基準値(1キログラムあたり100ベクレル)以下である。福島の海は東日本大震災後10年にして復活したのである。海藻類は海洋環境における一次生産者であり、食物連鎖の過程で海藻類を餌とする動物には大きな影響を与える。放射性物質流出事故直後から8年間にわたる海藻類の調査を通して、経時的に放射性物質による汚染から海が復活する過程を垣間見ることができた³⁾⁴⁾。

注

- 1) 東京電力株式会社。福島第一原子力発電所事故における放射性物質の大气中への放出量の推定について：(2012) https://www.tepco.co.jp/cc/press/betu12_j/images/120524j0105.pdf (2021年12月10日閲覧)
- 2) 佐々木秀明、藤本有希、吉田奈央：福島県いわき市永崎の海藻相：いわき明星大学科学技術学部研究紀要 30: 25-31(2017)
- 3) Kawai H, Kitamura A, Mimura M, Mimura T, Tahara T, Aida D, Sato K, Sasaki H. Radioactive cesium accumulation in seaweeds by the Fukushima 1 Nuclear Power Plant accident – Two years' monitoring at Iwaki and its vicinity. *Journal of Plant Research* 127(1): 23-42 (2014)
- 4) 佐々木秀明：海藻類による放射性セシウムのモニタリングと除染の試み：財界ふくしま 45(11): 127-134 (2016)