

## 海底湧水が沿岸環境に及ぼす影響

キーワード：海底湧水、地下水、栄養塩、沿岸環境、ラドン

### はじめに

海藻や植物プランクトンは、光合成により水中に酸素を供給する、それ自身が生物の餌になる、加えて海藻は産卵場や稚魚の隠れ家になる、など様々な機能を持ち、海を生物にとって住みよい環境にするために貢献しています。海藻や植物プランクトンは陸上の植物と同様に成長・増殖するために窒素やリンなどを必要とします。海水中に溶解している無機態の窒素やリンなどは栄養塩と呼ばれ、これらが多く含まれると海藻や植物プランクトンがよく成長する豊かな海になります。その一方で栄養塩濃度が高くなりすぎることを富栄養化と呼びます。これは赤潮と呼ばれる植物プランクトンの異常増殖の原因となり、水質の悪化を引き起こし養殖業などに甚大な被害を与えます。

北海道南西部日本海側の栄養塩濃度について調べた研究によると、栄養塩の多くは、表層水が冬季の気温低下により冷却されて比重が大きくなり、深く沈んで栄養塩濃度の高い深層水と鉛直混合することや、雪解けの時期や秋季の降雨時に土壌から溶出し河川を通じて供給されることが明らかになっています<sup>1)</sup>。この海域では3月～4月頃にブルーミングと呼ばれる植物プランクトンの大発生が起こります。これにより冬季の鉛直混合と雪解け水で供給された栄養塩は速やかに消費され、6月から、11月頃まで栄養塩は枯渇します。栄養塩が少なすぎる状態は貧栄養と呼ばれ、植物プランクトンや海藻の成長にとって好ましくないことか

ら、この海域において夏季の生物環境を考える際の大きな問題になっています。このように栄養塩は海の生物に大きな影響を与えることから、栄養塩濃度は環境状態を示す重要な指標になります。

陸から海へ栄養塩を輸送するルートとして、河川以外に地下水があります。地下水が海底で湧出することを海底湧水と呼びます。地下水は土壌から栄養塩の供給を受けるため、河川水よりもその濃度が高いことが多いです。例えば、富山湾沿岸の海底湧水と湾に流入する黒部川では、湧水の方がリンは約2倍、窒素は約5倍濃度が高いことが明らかとなっています<sup>2)</sup>。このため、海底湧水が沿岸域の栄養塩環境に大きな影響を与えている可能性も考えられます。しかし、これまで海底湧水の研究はあまり進んでいませんでした。この理由は、海底湧水の指標となる塩分濃度の低下は河川水や降雨によっても生じるので、地下水と河川水や雨水を判別することが難しいためです。ところが、近年、海底湧水を検出できる分析方法が開発され、海底湧水を対象とした研究が多く実施されるようになりました。そこで道水試でもこの方法を使って海底湧水を探索し、地下水が沿岸環境に及ぼす影響について調べてみました。

### 海底湧水の探索方法

従来の塩分ではなく、<sup>222</sup>Rn（通称、ラドン）を指標として海底湧水を検出する方法があります<sup>3)</sup>。ラドンはラジウムから生成される、水に対する溶

解度が非常に高い放射性物質の気体です。地下の岩石にはラジウムが多く含まれるため、それに触れている地下水は常にラドンの供給を受け、その濃度は高く維持されています。しかし、地下水が海底から湧出すると、ラドンの供給を受けられなくなることに加え、海水中でのラドンの自然崩壊によりその濃度は減少していきます。自然崩壊により放射性物質の量が半分になるまでの時間を半減期と呼びます。ラドンの半減期は3.82日なので、ラドンの濃度は海水中に湧出後、非常に速やかに低下します。つまり海水中でラドンが検出されることは、近い場所から地下水が湧出している証拠となります。

ラドンの有無は地下水の有無と見なすことができますが、その濃度は通ってきた地層のラジウム含有量に影響を受けるため、単純に濃度の大小から湧出量を評価することは難しいです。湧出量を正確に把握するためには湧出量計などを用いた測定が別途必要です。しかし、同じ地層を通ってきたと見なせるごく近い場所で比較するのであれば、ラドン濃度の大小が湧出量の大小を知る目安になると考えられます。

ラドンの分析にはRad7 (DurrIDGE 社) を使用しました。これは空気中のラドン濃度を測定する装置です。分析方法は、まず海水を気液平衡装置に導入して水中に溶けているラドンを空気中に放出させ、空気中と水中のラドン濃度が一定の比率となる気液平衡状態にします。次に、その空気を除湿してRad7でラドン濃度を測定します。気液平衡状態における空気中と水中のラドン濃度の比率は温度で決まるので、Rad7で測定した濃度と気液平衡装置の温度から水中に溶けていたラドンの濃度が得られます。先述のようにラドンの半減期が短く、採水後速やかに分析する必要があるため、今回は調査現場に装置を持ち込み、海水をくみ上げ

ながら分析する方法を採用しました。

### 漁港内の海底湧水と栄養塩濃度

道水試では2016年～2019年に北海道檜山郡上ノ国町の上ノ国漁港大崎地区（以下、上ノ国漁港と称す）およびこの漁港の近傍の海洋牧場においてアサリの垂下養殖試験を実施しました（図1）。この試験の中で、両地点で栄養塩濃度を分析した結果、窒素、リンともに上ノ国漁港の濃度が高く、漁港内に栄養塩濃度を増加させる何らかの要因がある可能性が考えられました。また、漁港関係者から、漁港の造成工事の際に地下水が湧出したという話が聞かれました。

これらのことから、漁港内で地下水が湧出し、それが港内の栄養塩濃度を増加させている可能性があると考え、これを検証するために上ノ国漁港で海底湧水の調査を実施しました。

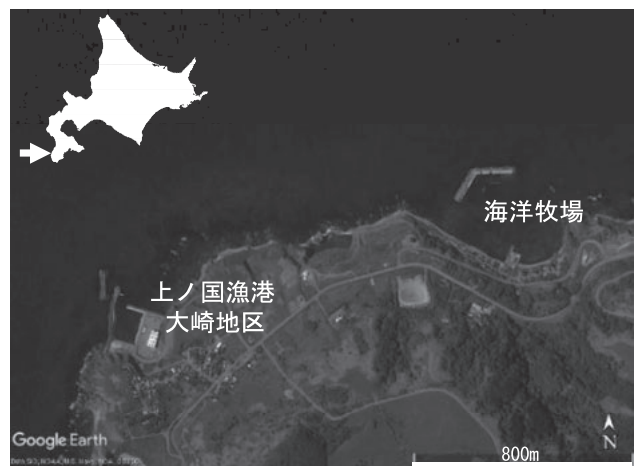


図1 調査地点の概要

調査は2018年6月6日に上ノ国漁港の3地点 (St. A～C) で実施しました（図2）。各地点の岸壁にRad7を設置して取水ホースを海底まで降ろし、底層水をくみ上げてラドン分析を行いました。その際、余剰な海水をろ過して試験場へ持ち帰り、栄養塩濃度の分析も行いました。ラドン分析の様子

を写真1に示しました。

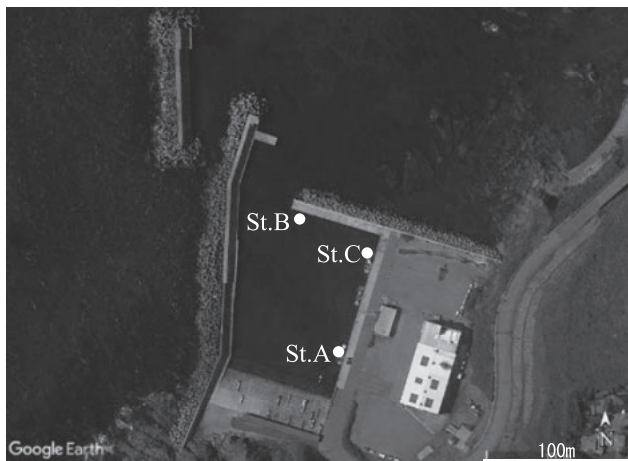


図2 ラドン濃度分析を実施した調査地点

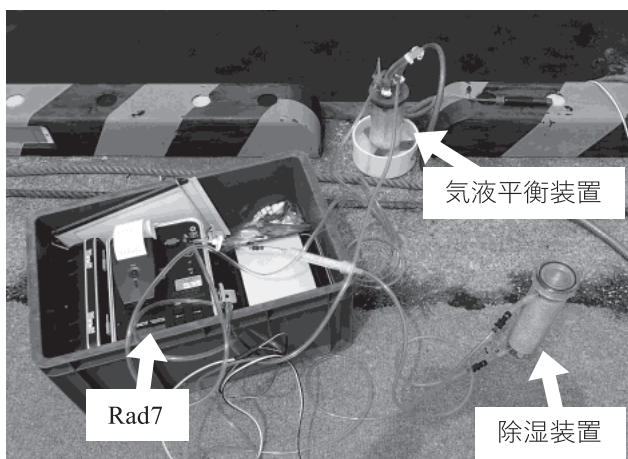


写真1 ラドン分析の様子

ラドン濃度の分析結果を図3に示しました。すべての調査地点でラドンが検出され、漁港内で地下水が湧出していることが確認されました。濃度はSt. A、Cに比べてSt. Bは低いことから、St. Bよりも陸に近いSt. A、Cで湧出量が多い可能性が考えられました。

栄養塩濃度の分析結果を図4に示しました。漁港外の濃度と比較するため、同じ日に採水した海洋牧場の表層水の分析結果も載せてあります。各地点とも、窒素濃度はNH<sub>4</sub>-N（アンモニア態窒素）がNO<sub>3</sub>-N（硝酸態窒素）よりも高い値でした。またPO<sub>4</sub>-P（リン酸態リン）濃度は窒素よりも低い値

でした。地点ごとに比較すると、すべての項目において、St. A、Cの濃度がSt. Bや海洋牧場に比べて高い結果となりました。St. BはNH<sub>4</sub>-Nについては海洋牧場よりも高い値でしたが、その他については海洋牧場とあまり差が見られませんでした。これらの結果から、上ノ国漁港内では地下水が湧出し、これに含まれる栄養塩によって港内の栄養塩濃度が高くなっており、その影響はラドン濃度が高かったSt. A、Cでより強く現れていたと考えられました。

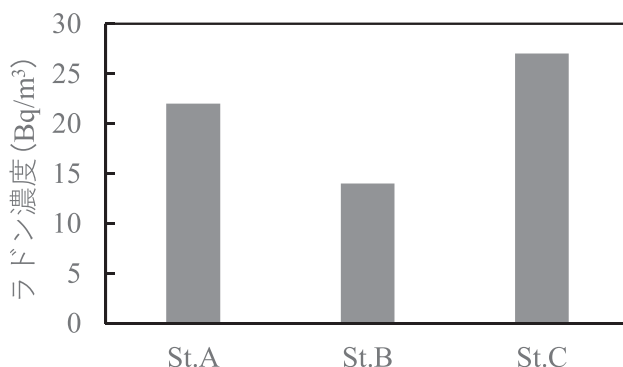


図3 上ノ国漁港底層水のラドン濃度

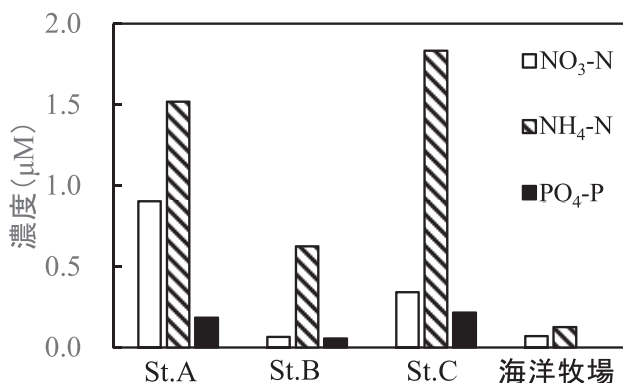


図4 上ノ国漁港底層水と海洋牧場の栄養塩濃度

### 地下水が生物生産に及ぼす影響

調査結果から上ノ国漁港では地下水が栄養塩を供給していることがわかりました。この栄養塩が漁港内の生物に影響を与えているか調べるために、上ノ国漁港と海洋牧場で試験養殖していたアサリの窒素安定同位体比を分析し、比較を行いました。

この分析は食う—食われるの関係や餌の起源を調べる際によく用いられる手法で、その比が異なることは、窒素の起源が異なる餌を食べていたことを示します。分析には上ノ国漁港および海洋牧場で2017年6月～2018年3月まで養殖したアサリ各5個体を用いました。上ノ国漁港ではSt. Bに近い場所で養殖を行っていました。分析結果を図5に示しました。両者の窒素安定同位体比には大きな違いが見られ、アサリの餌に含まれる窒素の起源が異なっていると考えられました。すなわち上ノ国漁港では、地下水が供給する栄養塩の一つである窒素で増殖した植物プランクトンをアサリが捕食していた可能性があります。しかし、これを検証するためには、さらなる分析が必要です。そのためには海水中の栄養塩の窒素安定同位体比を用いて検証する方法が有効ですが、水中に溶けている窒素を測定するためには複雑な前処理が必要であり、これが難しいことから、残念ながら地下水に含まれる窒素とアサリの窒素の関係性の詳細について解明することはできませんでした。

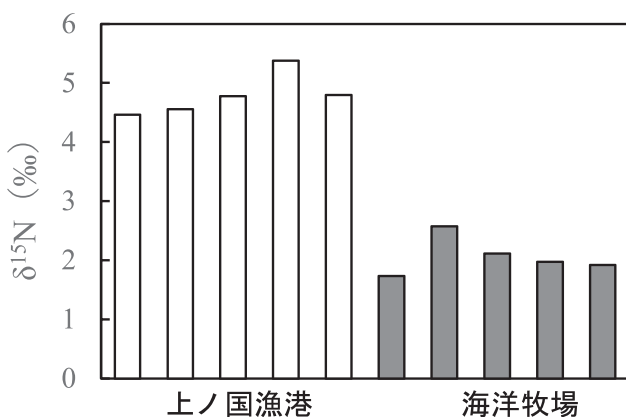


図5 養殖したアサリの窒素安定同位体比

## おわりに

今回の調査によって、上ノ国漁港では海水と比べて多くの栄養塩を含んだ地下水が湧出し、そこで養殖したアサリは地下水が供給した窒素を利用

している可能性があることがわかりました。これは、地下水が沿岸域の生物生産に影響を与えていることを示唆するものです。近くに河川がなく、栄養塩濃度が低いと思われる場所でも、海底湧水によって予想以上の栄養塩が供給され、多くの生物がそれを利用している可能性があります。このため、夏場に貧栄養になる北海道南西部日本海側では、海底湧水は沿岸環境を考える際に見逃せない要素になると考えています。今後研究が進み、地下水が沿岸環境に与える影響がさらに明らかにできれば、藻場造成や放流事業の際に、海底湧水の存在する場所が適地として選ばれるようになるかもしれません。

## 参考文献

- 1) 足立久実子, 大澤義之 (2005) 北海道南西部日本海沿岸水の栄養塩変動特性, 海洋開発論文集, 21, 635-639.
- 2) 八田真理子, 張勁, 佐竹洋, 石坂丞二, 中口譲 (2005) 富山湾の水塊構造と河川水・沿岸海底湧水による淡水フラックス, 地球化学, 39, 157-164.
- 3) 小路淳, 杉本亮, 富永修 (2017) 沿岸海域に湧き出す地下水を可視化する方法 地下水トレーサーとしてのラドン同位体, 地下水・湧水を介した陸—海のつながりと人間社会 (小路淳, 杉本亮, 富永修編), 恒星社厚生閣, 東京, 39-41.

(福田裕毅 栽培水試調査研究部 報文番号 B2451)