

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 24 日現在

機関番号：23401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24658175

研究課題名(和文) ラドントレーサーによる若狭嶺南流域圏における地下水湧出が生物生産に及ぼす影響評価

研究課題名(英文) Assessment of the effect of submarine groundwater discharge on the biological production by the radon tracer in Wakasa-Reinan basin area

研究代表者

田原 大輔 (TAHARA, Daisuke)

福井県立大学・海洋生物資源学部・准教授

研究者番号：20295538

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円、(間接経費) 930,000円

研究成果の概要(和文)：小浜湾への地下水湧出量を ^{222}Rn ・塩分の収支モデルから推定したところ、地下水は、全淡水流入量の4～44%を占めており、河川流量の低下する夏季にその割合が高くなる傾向にあった。また、地下水から供給される溶存無機態の窒素、リン、ケイ素は、全陸水由来の栄養塩輸送量の平均で39%、58%、37%を占めていた。特に小浜湾の一次生産はリン制限下にあるため、地下水によるリン供給は小浜湾の生物生産において重要な役割を果たしていると考えられた。

研究成果の概要(英文)：We estimated the input of freshwater and nutrients via submarine groundwater discharge (SGD) into Obama Bay using mass balance model of radon (^{222}Rn) and salinity. As a result, the volume of SGD into the bay was estimated to be 4-44% of the fraction of SGD in total freshwater flux. The SGD tended to be high in summer, because river water discharge decreased drastically. The nutrient fluxes from SGD were approximately 39%, 58% and 37% of total terrestrial fluxes dissolved inorganic nitrogen, dissolved inorganic phosphorous and dissolved inorganic silicate, respectively. The phosphorous supply from SGD was suggested to be important in the biological production in Obama Bay which was under the phosphorous limit for primary production.

研究分野：農学

科研費の分科・細目：水産学・水産学一般

キーワード：海底湧水 ラドントレーサー 沿岸生態系 一次生産 生物多様性

1. 研究開始当初の背景

地下水湧出は、山麓や平地に湧出する比較的流れる時間(滞留時間)の短い「山麓湧水・平地湧水」と、沿岸域の海底に湧出する滞留時間の長い「海底湧出地下水(海底湧水)」の2つに大別される。前者の“目に目える”陸域湧水は、陸水生態系に安定した水量や水温・水質などを与えることから、河川生態系とは大きく異なる特異な水環境を陸域生態系に創出する。近年、森川海の連環が注目され、森や山で起こったことが川を通じて海に影響を及ぼす連鎖が重要であることが科学的にも証明されつつある(水産庁)。しかし、森と海をつなぐのは陸水表面を流れる川だけではなく、豊富な栄養塩を含んだ“海底湧水”が栄養塩の供給源として、沿岸域の基礎生産者を活性化していることがロシアのオホーツク海や中国の渤海湾で確認されている(地球環境研究所のアムール・オホーツクプロジェクト・黄河プロジェクト)。我が国においても、鳥海山沿岸、富山湾、駿河湾などで、沿岸汽水域に生息する水産動植物の生産量は、河川水からの淡水だけでなく、海底湧水の影響を強く受けている可能性が指摘されている(谷口、2010)。しかし、これまで、“目に見えない海底湧水”を捉える簡便な手法が確立されていなかったため、沿岸生態系の生物生産との関連は十分に把握されていない。

リアス式海岸の若狭湾内にある小浜湾は、北川・南川が流入する湾口が狭い閉鎖的の海域である。両河川が貫流する沖積低地である小浜平野の海岸沿いには、自噴の湧水場が存在する。現在、若狭流域圏を対象とした物質循環および生物生産の研究を共同で進めており、昨年、湧水支流の魚類層が隣接する非湧水支流の魚類層と大きく異なることを見出した。さらに、小浜湾底層(15 m付近)に植物プランクトンの極大層が存在することを発見し、小浜湾内に海底湧水が流出していることを強く示唆する結果を得た。しかしながら、北川・南川流域における地下水湧出の影響は未だ不明瞭であること、また小浜湾内における海底湧出ポイントも特定もされていないのが現状である。そこで、近年注目されているラドンを用いた地球化学的な湧水検出法を用いて、若狭嶺南流域圏スケールで地下水インパクトを検出し、それが生物生産に及ぼしている影響を評価することを試みた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、放射性同元素²²²Rn(ラドン)を用いることで河川・海域における地下水の影響を可視化し、地下水が基礎生産過程や生物群集構造に及ぼしている影響を明らかにすることである。具体的には、俯瞰的な調査アプローチをもとに、ラドントレーサー法から明らかにされる地下水インパクトと、現存量・生産力・種組成といった生物生産情

報を統合的に評価する。これにより、これまでに見えなかった地下水が持つ生態学的意義が明らかになり、湧水河川の保護水面化、海面の保護水面および育成水面の設定の際にも重要な知見を提供する。さらに、地下水依存型都市における持続可能な地下水管理と持続可能な生態系管理を統合的に扱った新たな管理方策の提言のための基礎的知見が得られる。

3. 研究の方法

(1) 陸域湧水の影響評価

小浜湾に注ぐ北川および南川流域を対象とし、ラドン濃度の網羅的な調査を季節ごとに実施、集水域スケールでの河川湧水マップを作成した。また各支流の流量を計測し、本流へのラドンフラックスを算出することで、支流から本流への地下水インパクトを定量化した。

北川支流の湧水河川において、水温の周年変化、湧出地下水の水質分析、魚類・植物相の調査を実施した。

(2) 海底湧水の影響評価

本研究では、小浜湾の海底湧水の実態と生物生産過程への影響を評価するために、以下の3つの調査を実施した。

小浜湾全域を対象とした海底湧水調査

2013年2月から11月までの毎月1回、小浜湾内を網羅するように17測点、小浜湾外に3測点を設け、CTD観測(水温、塩分)および採水を行った。採水した試料は、²²²Rn、²²⁶Ra、栄養塩(DIN、DIP、DSi)、クロロフィル a (Chl-a)の濃度分析に供した。また、主要流入河川の²²²Rnと栄養塩の濃度測定を毎月実施した。2011年から2014年にかけて、小浜湾沿岸域の地下水(湧水、浅井戸、自噴井)を採取し、²²²Rn濃度と栄養塩濃度を測定した。2013年4月以降、沿岸の浅井戸において、地下水位・水温・電気伝導度の連続測定を行った。

小浜湾の浅海域における海底湧水調査

2013年3月、6月、7月、9月に、小浜湾の浅海域において小型船舶による曳航調査を行った。岸沿いを1~2 knotで航走し、水深0.5mの海水を水中ポンプで汲み上げ、²²²Rn、水温、塩分、pH、クロロフィル蛍光値を連続的に測定したほか、10分おきに栄養塩サンプルを、20分おきにChl-aサンプルを採集し、濃度分析に供した。

上述の観測結果をもとに、地下水流出の集中する小浜湾東部海域において、2013年7月、8月に6測点を設け、地下水流出と一次生産力の関係を調べた。各測点では、CTDによる水温・塩分の観測並びに水中光強度の測定を行うとともに、²²²Rn、栄養塩およびChl-aの濃度分析も実施した。また、各測点において、¹³Cトレーサーによる現場培養実験を行い、一次生産力を測定した。

アマモ場の湧水調査

2012年7月末から8月初旬にかけて小浜湾内のアマモ場2カ所(湾奥の甲ヶ埼、湾口付近の泊)において、湧水環境と生物生産環境の調査を実施した。各アマモ場では、海底湧水量をシーページメーターを用いて直接計測した。また、アマモ場内の水中Chl-a・付着藻類のChl-aの濃度ならびに、付着動物の種組成と生物量を調べた。

4. 研究成果

(1) 陸域湧水の影響評価

北川および南川の全支流の最下流域において、 ^{222}Rn 濃度を測定した結果、小浜平野を流れる北川の支流である中川と杉山川で、その濃度が 4000 Bq m^{-3} を上回っており、湧水の影響が強いことが確認された。特に、中川は流域面積当たりの河川流出量が全支流の中で最も大きく、 $0.4\text{ m}^3\text{ d}^{-1}\text{ km}^{-2}$ を上回っていた(他の支流は $0.2\text{ m}^3\text{ d}^{-1}\text{ km}^{-2}$ 以下)。中川では、水温の異なる2系統の地下水が湧出し、北川河川水の水温変化パターンと約3か月のずれが生じていた。北川の河川水と湧出地下水の各種イオン濃度および組成から、北川の伏流水が湧出している可能性が示唆された。湧水河川の魚類相は北川本流のそれとほぼ同じであったが、大雨等の出水規模によって、その流入量は変化することが示唆された。また、ナガエミクリやミクリなどの湧水河川特有の抽水植物が確認された。

(2) 海底湧水の影響評価

小浜湾への地下水湧出量を ^{222}Rn ・塩分の収支モデルから推定したところ、 $0.05\sim 0.80\times 10^6\text{ m}^3\text{ d}^{-1}$ であり、地下水位と海面水位の時間変化に応じて地下水湧出量も変化していた。地下水は、全淡水流入量の4~44%を占めており、河川流量の低下する夏季にその割合が高くなる傾向にあった。また、地下水から供給される溶存無機態の窒素、リン、ケイ素は、全陸水由来の栄養塩輸送量の平均で39%、58%、37%を占めていた。特に小浜湾の一次生産はリン制限下にあるため、地下水によるリン供給は小浜湾の生物生産において重要な役割を果たしている。実際、湾内で湧水が多く出ていると想定されている場所の底層水中の植物プランクトン現存量は、地下水湧水量の大きかった初春に高い傾向にあった。

小浜湾の浅海域を対象とした ^{222}Rn の曳航調査より、東部海域で地下水の流出が集中していた。さらに、東部海域でも雪解け期にあたる春季の方が、夏季よりも ^{222}Rn 濃度が高い傾向にあり、地下水湧出量が春季に多いことが示唆された。東部海域で測定した一次生産力は測点間で大きく異なり、7月で $10.95\sim 49.50\text{ }\mu\text{g C L}^{-1}\text{ hr}^{-1}$ 、8月で $9.34\sim 32.41\text{ }\mu\text{g C L}^{-1}\text{ hr}^{-1}$ であった。また、一次生産力は ^{222}Rn 濃度と正の相関関係が認められた。このことから、海底湧水による栄養塩供給が、

浅海域の一次生産過程に大きな影響を及ぼしていることが明らかになった。

甲ヶ埼と泊のアマモ場で直接計測された 1 m^2 当たりの海底からの地下水湧出量は、 267 L/day と 82 L/day であった。そのうち淡水が占める割合はそれぞれ0.7%と0.3%であった。水中の植物プランクトンおよびアマモに付着している付着藻類の濃度は、泊よりも甲ヶ埼の方が高かった。また、アマモ場内の付着動物量も甲ヶ埼の方が著しく高かった。このことは、海底からの地下水湧出が甲ヶ埼のアマモ場内の生物生産を高めていることを示唆しており、湧水・藻場を起点とした生物生産システムが存在している可能性が示された。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計2件)

Hisami Honda、Ryo Sugimoto、Shiho Kobayashi、Yoshitake Takao、Daisuke Tahara、Osamu Tominaga、Makoto Taniguchi (2013) Submarine groundwater discharge in Obama Bay, Japan. Proceedings of the Global Congress on ICM: Lessons Learned to Address New Challenges, EMECS 10-MEDCOAST 2013 Joint Conference, 1169-1176. 査読有

Hisami Honda、Ryo Sugimoto、Daisuke Tahara、Osamu Tominaga、Makoto Taniguchi (2012) Submarine groundwater discharge and its implication for phytoplankton production in Obama Bay, Japan. Proceedings of the 14th international symposium on the efficient application and preservation of marine biological resources, 40-41. 査読無

[学会発表](計11件)

本田尚美、杉本亮、田原大輔、富永修。小浜湾における一次生産機構の時空間変化 2012年度日本海洋学会秋季大会。2012/9/13。清水市。

富永修、田原大輔、杉本亮：みえる水・みえない水が生み出す山川里海のつながりと生物多様性 - 福井県小浜市周辺の自噴井戸と小浜湾に湧く海底湧水 - 湧水保全フォーラム全国大会 in さいじょう 2012/10/12-13。西条市。(ポスター発表)

本田尚美：海を豊かにする地下水 ~ 小浜湾の海底油水調査 ~ 全国アマモサミット2012 in 若狭 2012/11/10。小浜市。富永修、田原大輔、杉本亮：みえる水・みえない水が生み出す山川里海のつながり

りと生物多様性 - 福井県小浜市周辺の自噴井戸と小浜湾に湧く海底湧水 - . 全国アマモサミット 2012 in 若狭 . 2012/11/10. 小浜市 . (ポスター発表) 本田尚美, 杉本亮, 小林志保, 田原大輔, 富永修, 谷口真人: 小浜湾における基礎生産過程に地下水湧出が及ぼす影響 . 2012年度水産海洋学会 2012/11/15-18 . 東京都 . (口頭発表) 本田尚美, 杉本亮, 小林志保, 田原大輔, 富永修, 谷口真人: 地下水流出が小浜湾の基礎生産に及ぼす影響。水産海洋学会地域研究集会 第3回日本海研究集会「日本海の水産資源と環境・地域社会を考えるシンポジウム～見える水・見えない水を通じた陸域と海域のつながり～」。2013年11月9日。小浜市。小林志保, 富永修, 田原大輔, 杉本亮, 本田尚美, 宮田洋実, 谷口真人。浅海域の生物生産への海底湧水の寄与。水産海洋学会地域研究集会 第3回日本海研究集会「日本海の水産資源と環境・地域社会を考えるシンポジウム～見える水・見えない水を通じた陸域と海域のつながり～」。2013年11月9日。小浜市。杉本亮, 大河内允基, 本田尚美, 小路淳, 大沢信二, 谷口真人: 沿岸域における海底湧水と一次生産過程の同時モニタリング手法の開発。日本地球惑星科学連合2014年大会。2014/4/28-5/2。横浜市。(ポスター発表) 本田尚美, 杉本亮, 小野昌彦, 小林志保, 富永修, 大沢信二, 谷口真人: ^{222}Rn を用いた沿岸海底湧水調査: 別府湾・大槌湾・小浜湾をモデルフィールドに。日本地球惑星科学連合2014年大会。2014/4/28-5/2。横浜市。(ポスター発表) 本田尚美, 杉本亮, 小林志保, 田原大輔, 富永修, 谷口真人: ^{222}Rn を用いた小浜湾における海底地下水流出量の定量評価。日本地球惑星科学連合2014年大会。2014/4/28-5/2。横浜市。(口頭発表) 小林志保, 杉本亮, 本田尚美, 宮田洋実, 富永修, 田原大輔, 谷口真人: 海底湧水が沿岸海域の生物化学的環境に及ぼす影響。日本地球惑星科学連合2014年大会。2014/4/28-5/2。横浜市。(ポスター発表)

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:

国内外の別:

取得状況(計 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田原大輔 (TAHARA, Daisuke)
福井県立大学・海洋生物資源学部・准教授
研究者番号: 20295538

(2) 研究分担者

杉本 亮 (SUGIMOTO, Ryo)
福井県立大学・海洋生物資源学部・助教
研究者番号: 00533316

(3) 連携研究者

富永 修 (TOMINAGA, Osamu)
福井県立大学・海洋生物資源学部・教授
研究者番号: 90264689

谷口真人 (TANIGUCHI, Makoto)
総合地球環境学研究所・教授
研究者番号: 80227222