

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 30 日現在

機関番号：17301

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2011

課題番号：22710012

研究課題名（和文）安定・放射性同位体解析を用いた地下水流入の沿岸水産資源への影響評価

研究課題名（英文）Evaluation of Submarine Groundwater Discharge (SGD) effects on the fisheries resources based on stable & radio isotopes techniques

研究代表者

梅澤 有 (UMEZAWA YU)

長崎大学・大学院水産・環境科学総合研究科・助教

研究者番号：50442538

研究成果の概要（和文）：

有明海西岸域の地下水中の ^{222}Rn 濃度が、河川に比べて約1~3桁高く、地下水の指標として有効であることを確認した。次に、調査時前の積算降水量と調査側線の水深の違いを標準化して、各沿岸域の ^{222}Rn 濃度分布の地点間の相対比較を可能とし、地域によって地下水の湧出量に差があることを明らかにした。更に、5つの定点連続観測で算出した地下水フラックスの絶対量と沿岸 ^{222}Rn 濃度に相関があることを利用し、有明海西岸の ^{222}Rn 濃度分布から、地下水の総湧出量を見積もった。この湧出量に、隣接する地下水中の栄養塩濃度を乗じて概算した海域への地下水経由の栄養塩フラックスには地域的な違いがあり(溶存無機態窒素(DIN): $7.8\sim 510\text{ kg-N day}^{-1}$ 、溶存無機態リン(DIP): $0.5\sim 3.9\text{ kg-P day}^{-1}$)、地下水中の栄養塩濃度が最も高く、地下水湧出量も多かった島原沿岸域において最大値が観測された。一方で、沿岸域から離れた有明海湾口において、硝酸の $\delta^{15}\text{N}$ を用いた栄養塩の起源解析と、有機物の $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ を用いた食物連鎖解析を行ったところ、大気降水物、有明海内部水、外洋底層海水に含まれる栄養塩の流入と、上位捕食者への転送は示されたが、地下水起源の栄養塩の寄与を診断することはできなかった。地下水中の栄養塩フラックスは、河川の影響が少ない有明海西岸域では重要な栄養塩源であり、二枚貝などの餌資源として重要な一次生産を高めるだけでなく、大型緑藻類の繁茂を促すなど、様々な生態系への影響が考えられるが、その影響範囲は沿岸浅層の狭い範囲に限られると考えられる。

研究成果の概要（英文）：

Terrestrial freshwater and associated nutrient fluxes affect primary production at coastal areas. Differently from river water like Chikugo River, however, the contribution of groundwater discharge to coastal ecosystem has not been well evaluated in Ariake Bay. In this study, ^{222}Rn was considered as a good indicator of groundwater, because ^{222}Rn concentrations in groundwater along the west coast of Ariake Bay were one or three orders of magnitude higher than those in river waters. ^{222}Rn distribution standardized based on the accumulated rainfall and water depth at the sampling location successfully indicated a spatial variation of groundwater discharge. Furthermore, total groundwater fluxes were evaluated from the ^{222}Rn distributions, because spatial distributions of ^{222}Rn were correlated with actual groundwater fluxes measured at 5 different locations. Nutrient fluxes through

the groundwater discharge had also spatial variation; 7.8 to 510 kg-N day⁻¹ for DIN (dissolved inorganic nitrogen), and 0.5 to 3.9 kg-P day⁻¹ for DIP (dissolved inorganic phosphorus), with the maximum values at Shimabara area, where both groundwater fluxes and nutrient concentrations in groundwater were highest. On the other hand, the impact of groundwater-derived nutrients on marine ecosystem at offshore area was not observed from the researches using $\delta^{15}\text{N}$ in nitrate and $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ in organic matter. Along the west coast of Ariake Bay, where there are no big rivers, groundwater can be important nutrient sources to enhance primary production, resulting in good food sources for bivalves and blooming of green macroalgae. However, the influential areas of groundwater-derived nutrients would be limited in shallow coastal areas.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学・環境動態解析

キーワード：生物海洋・有明海・地下水・安定同位体・栄養塩動態・食物連鎖・低次生態系

1. 研究開始当初の背景

九州最大の内湾である有明海の低次生態系を考える上で、河川水や地下水、外洋から流入する底層水に加えて、大気降水物を通して流入する栄養塩類は、植物プランクトンや重要な水産資源であるノリの生育を促し、更にこれらの藻類は、有明海の海域や干潟域に生息する多様な生物の餌資源となっている。一方で、過剰に流入した栄養塩が海域に長くとどまると沿岸域の赤潮や大型緑藻類の繁茂を引き起こす要因となっている。諫早干拓堤防の完成や M2 分潮の長周期変動等が要因となって潮汐流が減少し、乾期の河川水流入量の低下によって透明度が上昇しているとされる有明海では、光が一次生産の絶対的な律速要因とは限らなくな

ってきており、栄養塩の供給と循環に関する理解の必要性はさらに高まってきている。しかしながら、有明海では、河川水流入や外洋底層水によってもたらされる栄養塩については多くの研究が行われているものの、1) 大気降水物や地下水による淡水・栄養塩供給が、河川をはじめとする他の栄養塩起源（河川・外洋底層水・堆積物溶出）に対して、どの程度の寄与をもっているのか、また、2) これらの栄養塩の寄与が、地球温暖化などの環境変動によって大幅に変化をして高次生態系に影響を及ぼしうるのかについて明らかになっていなかった。

2. 研究の目的

九州最大の内湾で、赤潮や大型藻類の繁茂が問題になっている有明海において、下記の解析を行う。

(1) 従来の栄養塩分析・水塊構造解析に加え、放射性同位体である ^{222}Rn を用いて、下記の3つの目的で、地下水由来の栄養塩流入量定量を行う。

① ^{222}Rn の海底湧出地下水の指標としての有効性を検証する。

②沿岸域における ^{222}Rn 分布と、沿岸域複数点での ^{222}Rn の定点観測から求めた地下水湧出量を組み合わせ、調査地域全域からの地下水フラックスを算出する。

③ 地下水中の栄養塩濃度と地下水フラックスを用いて、地下水による沿岸海域への栄養塩供給量を推測する。

(2) 有明海の干潟域の生物多様性と生態系機能を定める重要種であり、かつ、浮遊幼生期～成体期に至るまで、高次消費者の餌資源としても重要な十脚甲殻類のハルマンズナモグリを対象種として、下記の2つの目的で低次生態系の動態解析を行う。

①幼生浮遊生活期における現場海域の水塊構造と栄養塩供給過程について、物理・化学観測によって、明らかにする。

②幼生の食物源について、培養実験と現場データ解析を組み合わせ、安定同位体分析をツールとして明らかにする。

3. 研究の方法

(1) -①

佐賀から長崎の有明海西岸にある河川水、井戸水および沿岸湧出水を採水し、試料水中の ^{222}Rn を気液平衡させた後、気相中の ^{222}Rn 濃度を、シリコン半導体検出器(RAD7: DurrIDGE社製)によって測定し、試料水中

の ^{222}Rn 濃度を算出した。また、試料水中の栄養塩濃度を測定した。

(1) -②

低潮位時に有明海西岸域の海岸から50~150m以内の浅海域において、表層海水中的水温塩分と ^{222}Rn 濃度の連続観測を行った。その結果、 ^{222}Rn 濃度に特徴的なシグナルが得られた地域においては、5つの定点における12時間の観測を行い、水深変化に伴う ^{222}Rn 濃度変動が、 ^{222}Rn 濃度の異なる海水、地下水の混合や大気拡散等によって説明できることを利用してボックスモデルを解き、地下水フラックス量を算出した。

(1) -③

海岸線に沿った ^{222}Rn 濃度を、調査直前10日間の積算降水量と現場水深条件が一定になるように補正して相対的な比較を可能にし、定点における地下水フラックス量と組み合わせ、沿岸域全体からの地下水フラックス量を求めた。更に、各地域の沿岸地下水の栄養塩濃度を乗じることで、地下水流出に伴う栄養塩フラックス量を算出した。

(2) -①

スナモグリのゾエア期幼生が生息する長崎県の橘湾沖の7測点において、2011年8月にCTD観測を行い水温、塩分、Sigma-t、DO飽和度、クロロフィル蛍光の鉛直分布を調べた。CTD-RMSにより各測点で多層の採水を行い、オートアナライザーにより栄養塩(NO_3 、 NO_2 、 NH_4 、 PO_4)測定を行った。また、栄養塩の起源を明確にするため、主要なDIN要素である硝酸の $\delta^{15}\text{N}$ ・ $\delta^{18}\text{O}$ の分析を行った。

(2) -②

ゾエア期幼生の摂餌に伴う同位体効果を調べるためにあらかじめ $\delta^{15}\text{N}$ ・ $\delta^{13}\text{C}$ の値が解っている餌を与え、ゾエア期幼生の $\delta^{15}\text{N}$ ・

$\delta^{13}\text{C}$ の変動を調べて、濃縮係数を求めた。

さらに、湾内部の観測定点で稚魚ネットを水平曳きし、得られた試料からゾエア期幼生とカイアシ類を選別し、 $\delta^{15}\text{N}$ ・ $\delta^{13}\text{C}$ を測定した。餌生物と予想されるプランクトンは、1) 選別をする膨大な労力を減少させること、種別にある程度大きさが揃ってくるのが想定されたこと、3) 幼生の成長に応じてサイズが異なることが考えられたことから、目合いの異なるメッシュで300 Lの海水を多層フィルターでろ過することで画分別の懸濁物として採集し、 $\delta^{15}\text{N}$ ・ $\delta^{13}\text{C}$ を測定した。室内培養実験と現場データを併せて解析を進めた。

4. 研究成果

(1) - ①

有明海西岸域の諫早～島原地域の地下水中の ^{222}Rn 濃度 ($130\sim 1700\text{ dpm L}^{-1}$) が、同じ淡水の河川中の ^{222}Rn 濃度 ($7\sim 140\text{ dpm L}^{-1}$) に比べて約1~3桁高く、地下水の指標として有効であることを確認できた。

(1) - ②

佐賀県鹿島市から長崎県南島原市にかけての海岸線沿いの ^{222}Rn 濃度は $0.4\sim 3.2\text{ dpm L}^{-1}$ の濃度幅を持っていた。島原半島南部の沿岸域では平均して ^{222}Rn 濃度が高かったが、諫早潮受堤防付近や島原半島の北東部の多比良港付近では低い値が見られた。また、小長井から諫早堤防にかけての地域では、諫早湾の奥部に近づくほど高い値が見られた。佐賀県鹿島市から太良町にかけての地域では $0.4\sim 1.8\text{ dpm L}^{-1}$ と全体的に濃度が低く、有明海湾奥部に向かうにつれて、塩分は低下するものの ^{222}Rn 濃度も低下していった。調査前の一定期間の積算降水量や調査時の水深を補正して標準化した場合においても沿岸域の海水中の ^{222}Rn 濃度にみられる大きな空間変動が確認さ

れ (図1)、地域によって地下水の湧出量に差があることが推測された。このような ^{222}Rn 分布の違いはそれぞれの地域の水理地質構造(浸透性など)や地形勾配の違い、地下水ポテンシャル面、人工構造物(例:人工護岸)の有無など様々な要因が複合的に関係して海底からの地下水湧出量に違いをもたらすためと考えられる。

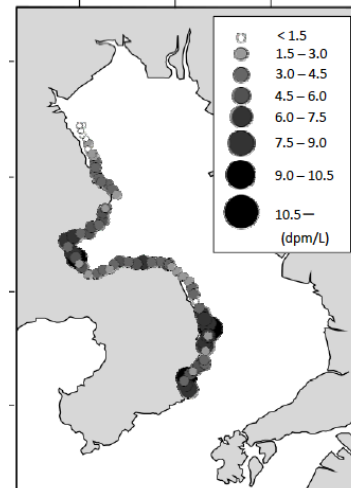


図1 有明海西岸域の ^{222}Rn 量の空間分布。地下水流出量の定点観測結果、観測時前の積算降水量、調査水深に応じて補正している。

5つの定点で算出した地下水湧出速度の観測時間内での最高速度は、St.1の(大浦)では 11 cm/day 、St.2の(小長井)では 6.4 cm day^{-1} 、St.3の(諫早)では 12 cm day^{-1} 、St.4の(瑞穂)では 3.5 cm day^{-1} 、St.5の(島原)では 16.4 cm day^{-1} という結果になり、St.5(島原)で見積もられた地下水流入速度が最も大きかった。ただし、流入速度が最大となるタイミングは地域によって異なっており、St.1, 3, 5のように下げ潮時に湧出速度が最大になるのは、潮位が地下水面よりも低下するか、地下水湧出点にかかる水圧が低下した際に湧出量が増加している為と考えられる。一方で、St.3, 5のように、観測地点以外からの海水が混入する上げ潮時に再び湧出速度が上昇する場合は、上げ潮時に、地下水湧出が大きい隣接する沿岸域から高い ^{222}Rn 濃度の海水が混合してくることが想定された。

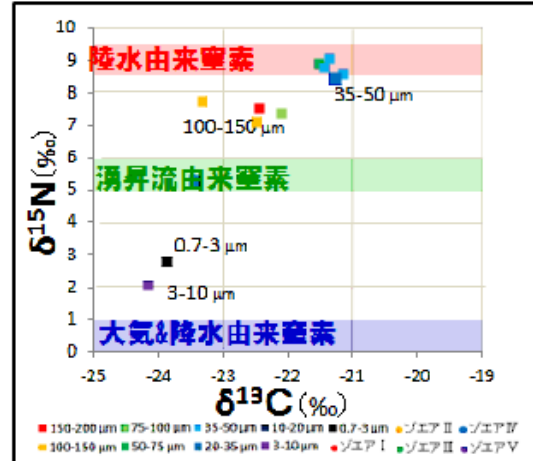
(1) -③

沿岸域からの地下水フラックスに、それぞれの地域の地下水中の栄養塩量 [$\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ の濃度幅は $0.02 \mu\text{mol L}^{-1} \sim 7.4 \mu\text{mol L}^{-1}$ 、 NH_4^+ の濃度幅は $0.03 \sim 5.6 \mu\text{mol L}^{-1}$ 、 PO_4^{3-} の濃度幅は $0.08 \sim 2.6 \mu\text{mol L}^{-1}$] を乗じて概算した海域への地下水経由の栄養塩フラックスには地域的な違いがあり (溶存無機態窒素 (DIN) : $7.8 \sim 510 \text{ kg-N/day}$ 、溶存無機態リン (DIP) : $0.5 \sim 3.9 \text{ kg-P/day}$)、地下水中の栄養塩濃度が最も高く、地下水湧出量も多かった島原沿岸域において最大値が観測された。このフラックスは、河川の影響が少ない有明海西岸域では重要な栄養塩源であり、二枚貝などの餌資源として重要な一次生産を高めるだけでなく、大型緑藻類の繁茂を促すなど、様々な生態系への影響が考えられた。

(2) -①

現場調査の結果、水温・塩分による密度躍層が形成されてきており、硝酸やリン酸などの栄養塩は、外洋域の底層と、橘湾中央部から湾口部の表層にかけて高い濃度がみられた。これに呼応するように、有明海内湾寄りの表層と、底層水が有光層に達すると思われる水深 40 m 付近に、Chl 蛍光の高まりがみられ、底層水と河川水・地下水起源の栄養塩を含む有明海陸水によって供給された栄養塩が一次生産を引き起こしていることが示唆された。また、硝酸の窒素同位体比を参照すると、外洋底層水で $5 \sim 6\text{‰}$ 、陸水栄養塩を反映している有明海内湾水で $8 \sim 9\text{‰}$ となり、本海域において硝酸の起源を分離するのに有効であることが明らかとなった。また、表層海水では $0 \sim 1\text{‰}$ の低い $\delta^{15}\text{N}$ 値も観測され、降水中に含まれる低い $\delta^{15}\text{N}$ 値を持つ硝酸も栄養塩の起源として考えられることが分かった。有明海湾口部に供給される栄養塩が、

陸水・外洋底層水に加えて、大気降水物の寄与があることを明らかにすることができ、本海域が、気候変動等の環境変化に対して、栄養塩供給の点では、脆弱でないことが明らかとなった。

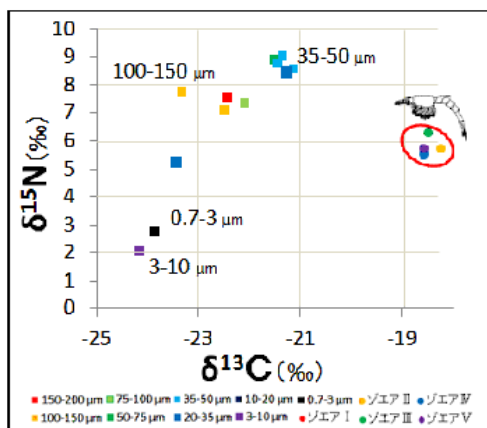


(2) -②

動物プランクトンのワムシのみを餌として飼育した時、ゾエア幼生の濃縮係数は $\Delta \delta^{15}\text{N} = 3.3\text{‰}$ 、 $\Delta \delta^{13}\text{C} = 0\text{‰}$ であった。また、ワムシ、アルテミア、*Chaetoceros sp.* との混合海水で飼育した場合、濃度依存型モデルによる解析の結果、それぞれの餌の捕食率は、 $2:1:1$ となった。現場と培養実験のデータを総合すると、スナモグリ幼生の餌資源は、ナノ植物プランクトンと動物プランクトンの混合摂餌が有力であることがわかった。

試料採取海域は異なる水塊の接点であり、懸濁態有機物の同位体比の時間変化が大きいため、限られた試料の同位体比から食物網を明らかにすることは困難であった。しかしながら、ゾエア期幼生やカイアシ類の窒素安定同位体比 ($\delta^{15}\text{N} = 5.5 \sim 6.3\text{‰}$) よりも 3‰ ほど低い位置に $10 \sim 3 \mu\text{m}$ 、 $3 \mu\text{m}$ 以下の分画別懸濁物の値 ($\delta^{15}\text{N} = 2.1\text{‰}$ 、 2.8‰) が位置しており、この画分に属するナノ植物プランクトン、これらの浮遊生物の主要な餌生物の候補として考えられた。この植物プランクトンの $\delta^{15}\text{N}$ 値は、大気降水物の寄与が半分程度あることを示唆しており、沿岸域から離れた

海域では、地下水の影響は有意には見られなかった。



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3件)

- ① Nakada S, Umezawa Y, Taniguchi M and Yamano H "Groundwater Dynamics of Fongafale Islet, Funafuti Atoll" Groundwater, 査読有, 2011, DOI: 10.1111/j.1745-6584.2011.00874.
- ② Hata H and Umezawa Y "Nutritional ecology of a territorial farmer fish, *Stegastes nigricans*" Ecological Research, 査読有, No. 26, 2011, 809-818
- ③ Hosono T, Wang CH, Umezawa Y, Nakano T, Yoshimizu C, Tayasu I, Nagata T, Onodera S, and Taniguchi M "Multiple isotope (H, O, N, S, and Sr) approach elucidates the complex pollution causes in the shallow groundwaters of Taipei urban area" Journal of Hydrology, 査読有, 397, 2011, 23-36

[学会発表] (計6件)

- ① 木山孔司・梅澤有・玉置昭夫 "栄養塩と画分別懸濁態粒子の安定同位体比を用いたハルマンスナモグリ幼生の食物源の解明" 日本海洋学会春季大会, 筑波大学, つくば, 2012年3月
- ② Umezawa Y "Seasonal shift of the contribution of Changjiang River and Kuroshio water to nutrient dynamics at continental shelf of East China Sea" ASLO Ocean Science Meeting, Salt Lake City, USA, February, 2012
- ③ 梅澤有 "硝酸同位体を用いたアジア大

都市域の地下水・雨水汚染解析" 同位体環境学シンポジウム, 総合地球環境学研究所, 京都, 2011年9月

- ④ 塩川麻保・山口聖・梅澤有 "有明海西岸域への地下水由来の栄養塩供給量の評価" 日本海洋学会秋季大会, 九州大学, 福岡, 2011年9月
- ⑤ Umezawa Y "Impact of Isahaya dike construction on physical environments and ecosystems in Ariake Bay, Kyusyu, Japan." International Workshop on Coastal Observations and Sediment Transport in Coastal Zones. Taoyuan, Taiwan, June, 2011
- ⑥ Umezawa Y "Introduction of the coastal areas and the studies on nutrient dynamics around Nagasaki" International Symposium on the Sustainability and Productivity of Coastal Resources. Nagasaki, January, 2011

6. 研究組織

(1) 研究代表者

梅澤 有 (UMEZAWA YU)

長崎大学・大学院水産・環境科学総合研究科・助教

研究者番号: 50442538