

鉄と湧水：沿岸海域生態系の物質循環で無視されてきたこと Iron and spring water which have been ignored in material cycles in coastal marine ecosystems

山本 民次^{1*}
YAMAMOTO, Tamiji^{1*}

¹ 広島大学大学院生物圏科学研究科
¹ Grad Sch Biosph Sci, Hiroshima Univ.

沿岸海域の物質循環は、塩分の空間的傾斜が明瞭なエスチュアリーであれば、水と塩分から、LOICZ (Land-Ocean Interaction in the Coastal Zones) Working Group が提唱している標準的な方法で計算できる。しかし、このマニュアルでは、地下水からの物質の負荷量は、分からない場合は無視する、と書かれている。地下水による沿岸域への物質の負荷の寄与は、当然、海域によって異なるが、流量が小さいとはいえ、地下を通ってくる間にさまざまな物質が溶存するため、負荷量としては、多い場合には河川水と同等程度になる可能性があると考えられる。

我が国沿岸域では、物質の流入負荷の削減により、赤潮の発生が減り、透明度も増加している。他方、ノリその他の水産生物が育たないほど貧栄養化している海域もあることが知られてきた。

不思議なことに、流入負荷削減にもかかわらず、底層の貧酸素状態の改善はほとんど見られない。このことから、貧酸素水塊の形成が有機物の酸化分解だけでなく、還元環境で生成される硫化水素による化学的酸素消費にあることが分かってきた。硫化水素はまた鉄と化合し易く、海水中の溶存鉄濃度を低下させる大きな要因となっている。このため、鉄不足による藻類の一次生産量の低下が危惧される場所である。

著者は、最近、太田川-広島湾流域圏において、河川上流から海域にかけて溶存鉄濃度を測定するとともに、海底湧水中の成分に関する調査を始めた。それらの分析結果を報告し、今後の沿岸域の物質循環研究の方向性を議論するきっかけとしたい。

キーワード: 栄養塩, 物質循環, 鉄, 湧水
Keywords: nutrient, material cycle, iron, spring

ラドン濃度連続観測に基づく海底地下水の分布特性と湧出量の推定：八代海沿岸域における事例 Estimation of distribution and discharge flux of submarine groundwater using Rn-222 in the Yatsushiro Bay

細野 高啓^{1*}; ニックピーマン イェーサー²; 小野 昌彦³; 梁 熙俊²; 嶋田 純²; 滝川 清⁴
HOSONO, Takahiro^{1*}; NIKPEYMAN, Yaser²; ONO, Masahiko³; YANG, Heejun²; SHIMADA, Jun²;
TAKIKAWA, Kiyoshi⁴

¹ 熊本大学大学院先端機構, ² 熊本大学自然科学研究科, ³ 産業技術総合研究所, ⁴ 熊本大学沿岸域環境科学教育研究センター

¹Priority Organization for Innovation and Excellence, Kumamoto University, ²Department of Earth Sciences, GSST, Kumamoto University, ³The National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, ⁴Center for Marine Environment Studies, Kumamoto University

Rn-222 連続観測法が提案されてから 10 年余りが経過し、我が国においても本方法を用いて沿岸域における SGD の分布や湧出量の評価が進められてきている。発表では、後背地の地形や地質が多様な八代海域を対象に、最近 4 年間蓄積してきた Rn-222 データを集約し、解析の結果得られた SGD の分布および湧出の特徴と、それら評価の方法について紹介する。

八代海域は、九州本土と天草諸島に囲まれた内海で、周囲約 220 km、総面積 1,200 km² を誇る。海域の周囲をとりまく地形や地質の特徴が多様なため、後背地集水域面積、地形勾配、干潟の有無、地質物質、地質構造など、こういった要素がどの程度海域の SGD 分布特性に影響を与えるかを理解するうえで格好の対象となる。八代海域にスポットを当てた地域研究から見えてくる、こうした特徴を整理することで、自然界における目に見えない SGD 分布特性の面白さを再認識することができる。

八代海へ注ぐ合計 61 の流入河川の Rn-222 濃度を測定した結果、地下水と比べると低いものの、河口において河川水も無視できないオーダーで Rn-222 を含むことが明らかとなった。そこで我々は、海域に及ぼす河川由来 Rn-222 濃度を評価するため、既存の海流シミュレーションをベースに Rn-222 モデルを構築し、海域に及ぼす河川由来 Rn-222 の影響評価を試みた。モデルから推定した河川由来 Rn-222 濃度を、曳航観測結果から差し引くことで、正味の SGD 由来 Rn-222 濃度分布を推定した。

八代海域におけるトータル SGD フラックスは、従来提案されてきたボックスモデルに従い、推定された SGD 分布面積に、代表地点での Rn-222 定点観測の結果得られた湧出率を乗じることで算定した。その結果、海域にもたらされる陸水全体の約 15% が SGD 由来である結果となった。さらに、Rn-222 と salinity の二成分プロット図を用い、定点観測を行った周辺海域に及ぼす各成分 (FSGD、RSGD、河川水、海水) の寄与度を定性的に解析した。このような解析から想定された SGD 寄与率の特徴と、SGD 誘発に関係していそうな要因 (たとえば潮の満ち引きの条件や風速など) を比較検討した結果、SGD (FSGD、RSGD 共に) 誘発の引き金となるファクターとして、風速が最も重要であるという解析結果を得た。

八代海域では、流入河川も地下水と同様に有意な Rn-222 濃度を有するため、単純に Rn-222 濃度を海域における地下水のトレーサーと見なすことは難しい。この知見は八代海に限られたことではなく、同様の気象、地形を持つ地域では、似たような傾向が予想される。本講演では、これまで試みられたことのない河川由来 Rn-222 濃度の評価方法を含め、Rn-222 観測の解析結果から読み取れる SGD の分布特性ならびに陸水全体に占める量的特徴、そして、SGD 湧出メカニズムについて、八代海における最新の研究事例を通してお伝えしたいと考えている。

キーワード: 海底地下水, ラドン, 海流モデル, 干潟, 湧出量, 分布

Keywords: SGD, Rn-222, simulation, tidal flat, discharge rate, distribution

ラドンを用いた日本の沿岸海底地下水湧出の解析 Analyses of submarine groundwater discharge based on Radon-222 concentrations of the coastal water in Japan

谷口 真人^{1*}; 本田 尚美¹; 小野 昌彦²; 細野 高啓³; 梅澤 有⁴; 杉本 亮⁵; 山田 誠¹
TANIGUCHI, Makoto^{1*}; HONDA, Hisami¹; ONO, Masahiko²; HOSONO, Takahiro³; UMEZAWA, Yu⁴; SUGIMOTO, Ryo⁵; YAMADA, Makoto¹

¹ 総合地球環境学研究所, ² 産業技術総合研究所, ³ 熊本大学, ⁴ 長崎大学, ⁵ 福井県立大学

¹Research Institute for Humanity and Nature, ²National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, ³Kumamoto University, ⁴Nagasaki University, ⁵Fukui Prefectural University

ラドン 222 は海底地下水湧出を検出する有効なトレーサーの一つとして広く用いられている。これは表流水や海水に比べて地下水のラドン濃度が極めた高いことによる。我が国においても様々な沿岸域において、陸域起源の海底地下水の流出地点及び流出量を検出する試みが、沿岸海水のラドン濃度の測定をとおして行われてきた。本研究では、これまで日本各地で測定されたラドンデータを集約し、シーページメータによって直接測定されたデータとともに集計し、地下水流出量を決定する降水量・蒸発散量・河川水量などの水文気象条件と、地下水流出速度を決定する帯水層の透水性や動水勾配などの地形・地質条件とをあわせて整理した。海底地下水流出の指標であるラドン濃度を、水文気象・地形地質の各種データと比較することにより、海底地下水流出を要因分析と、沿岸生態系への影響について考察した。また特に、岩手県大槌町、山形県遊佐町、福井県小浜町では、湾ごとや湾内でのラドン濃度の比較をおこない、上記のパラメータ以外の要因も含めて検討した。

キーワード: 海底地下水流出, ラドン, 沿岸地下水

Keywords: submarine groundwater discharge, Radon, coastal groundwater

大分県日出町の海底湧水の起源 The origin of submarine groundwater discharge in the coastal zone of Hiji, Oita prefecture

山田 誠^{1*}; 大沢 信二²; 三島 壮智²; 小路 淳³; 谷口 真人¹
YAMADA, Makoto^{1*}; OHSAWA, Shinji²; MISHIMA, Taketoshi²; SHOJI, Jun³; TANIGUCHI, Makoto¹

¹ 総合地球環境学研究所, ² 京都大学地球熱学研究施設, ³ 広島大学

¹ Research Institute for Humanity and Nature, ² BGRL, Institute for Geothermal Sciences, Kyoto University, ³ Hiroshima University

It is believed that groundwater discharges from the seabed of the coastal zone of Hiji, Oita prefecture. The marbled sole which lives around this submarine groundwater discharge (SGD) is called the "Shirosita Karei", and is held in high regard by the local community. From ancient times, local people have believed that this Shirosita Karei grows because of SGD. However, the ecological link between marbled sole and SGD has not been well established. Moreover, although it is clear that there is SGD in the area, there is almost no information about the origin and dissolved components of the SGD. In this study, we directly collected SGD and analyzed its chemical composition and water stable isotopes. Additionally, we analyzed the chemical composition and water stable isotopes of the inland cold spring water. We considered the origin of the SGD by comparing the result of the SGD analysis and the inland cold spring analysis. Since we expected that the temperature of SGD would be different than seawater, we used a thermometer for the identification of the discharge location. We inserted a stainless steel pipe in the identified location and collected SGD water. The sodium concentration from the collected SGD water was 12.1 mg/l, indicating fresh water. The isotopic composition of the SGD water resembled that of the inland cold spring water. The recharge area of the inland cold spring water is at an elevation of 200 m or more. These results suggest that the SGD water comes from an elevation of 200 m or more. It indicates that the origin of SGD is water recharged in the forest area of the mountain slope, and that the water moves under the plain and is discharged at the seabed.

キーワード: 海底湧水, 水の安定同位体, 涵養域, 日出町

Keywords: Submarine groundwater discharge, Stable isotope, recharge area, Hiji

大分県日出町の海底湧水と周辺海水の栄養塩環境 Submarine groundwater discharge and nutrients state of around coastal seawater

本田 尚美^{1*}; 大沢 信二²; 杉本 亮³; 辺 笛²; 三島 壮智²; 山田 誠¹; 小路 淳⁴; 谷口 真人¹
HONDA, Hisami^{1*}; OHSAWA, Shinji²; SUGIMOTO, Ryo³; HEN, Teki²; MISHIMA, Taketoshi²;
YAMADA, Makoto¹; SHOJI, Jun⁴; TANIGUCHI, Makoto¹

¹ 総合地球環境学研究所, ² 京都大学, ³ 福井県立大学, ⁴ 広島大学

¹Research Institute for Humanity and Nature, ²Kyoto University, ³Fukui Prefectural University, ⁴Hiroshima University

In recent years, the importance of nutrient input to the coastal seawater through submarine groundwater discharge (SGD) has been pointed out in several studies. The coastal area of Hiji town in Oita Prefecture, it is known that there is a submarine groundwater discharge. However, the effects of SGD-derived nutrients has not yet been clarified in this area. Therefore, we investigated the spatial distribution of SGD using radon-222 isotope as a groundwater tracer and assessed the impact on the nutrient (DIN and DIP) concentrations of surrounding seawater. In May 26-30, 2014, we monitored ²²²Rn and nutrients along the coast of Hiji. In addition, we collected the spring water on the land and the spring water of a salt water mixture discharged on the coast. As a results, ²²²Rn concentrations was clearly highest on SGD point. Nutrients concentrations around the SGD point were higher DIP concentrations than elsewhere and the N/P ratios lower than the Redfield ratio. These results imply that SGD is main source of DIP in coastal area of Hiji.

Keywords: Submarine groundwater discharge, ²²²Rn, Nutrients, Primary production

小集水域からの地下水流出が海岸部の基礎生産に及ぼす影響：小浜湾東岸域の事例
The influence of groundwater discharge on primary production in a shallow coastal sea,
Obama bay, Japan

小林 志保^{1*}; 杉本 亮²; 宮田 洋実¹; 本田 尚美³; 山田 誠³; 富永 修²; 田原 大輔²; 小路 淳⁴;
谷口 真人³

KOBAYASHI, Shiho^{1*}; SUGIMOTO, Ryo²; MIYATA, Youji¹; HONDA, Hisami³; YAMADA, Makoto³;
TOMINAGA, Osamu²; TAHARA, Daisuke²; SHOJI, Jun⁴; TANIGUCHI, Makoto³

¹ 京都大学, ² 福井県立大学, ³ 総合地球環境学研究所, ⁴ 広島大学

¹Kyoto University, ²Fukui Prefectural University, ³Research Institute for Humanity and Nature, ⁴Hiroshima University

Submarine groundwater discharge (SGD) often influences on biogeochemical properties in coastal seas. We observed spatial and temporal variations in SGD using ²²²Rn and seepage meter along the shoreline of Obama bay, Japan. The results showed SGD exists even in the shallow sea adjacent to the small water catchment area (~1 km²), where the range of the tide is relatively small (10~30 cm). The spatial and temporal variations in chlorophyll observed at the same time suggest that the SGD influences on primary production.

キーワード: 陸海相互作用, 海底湧水, 沿岸生態系, 基礎生産

Keywords: land-ocean interaction, submarine groundwater discharge, costal ecosystem, primary production

駿河湾における富士山地下水海底湧出場所の推定 (II) Location estimation of submarine groundwater discharge from Mt. Fuji in Suruga Bay (II)

村中 康秀^{1*}; 神谷 貴文¹; 伊藤 彰¹; 大山 康一¹; 渡邊 雅之²; 小野 昌彦³; 丸井 敦尚³
MURANAKA, Yasuhide^{1*}; KAMITANI, Takafumi¹; ITO, Akira¹; OHYAMA, Koichi¹; WATANABE, Masayuki²;
ONO, Masahiko³; MARUI, Atsunao³

¹ 静岡県環境衛生科学研究所, ² 静岡県工業技術研究所, ³ 産業技術総合研究所

¹Shizuoka Institute of Environment and Hygiene, ²Industrial Research Institute of Shizuoka Prefecture, ³National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

富士山周辺では、透水性に富む玄武岩質の新富士溶岩が主要な地下水の流路になっている。特に富士山南西麓では、富士川河口断層が南北方向に分布しており、この断層が駿河湾への地下水流動に大きな影響を与えている可能性がある。そのため、富士山にもたらされた降水が駿河湾で海底湧水となって湧出し、沿岸海域の生物資源に大きな影響を与えていると考えられる。

本研究では、駿河湾の豊かな沿岸生態系の解明への貢献を目指し、富士川～田子の浦間の奥駿河湾において海底湧水調査を実施した。断層がある富士川河口周辺から深さ 100～200m に新富士溶岩が分布する富士川～田子の浦間の奥駿河湾において、水深 250m までの海底地形をマルチビームソナーで、海底面や地層の状況をサイドスキャンソナー、音波探査機を用いて測定し、地下水の湧出場所の推定を試みている。また、これらの推定された場所を対象に、遠隔操作無人探査機 (ROV) を使用して海底の状況を把握している。本発表ではこれらの取り組みについて紹介する。

キーワード: 海底湧水, 富士山, マルチビームソナー, サイドスキャンソナー, 音波探査, 遠隔操作無人探査機

Keywords: submarine groundwater discharge (SGD), Mt. Fuji, multibeam sonar, side scan sonar, sub-bottom profiler, remotely operated vehicle (ROV)

海底湧水が動物生産に与える影響：魚類群集構造に注目して Effects of submarine groundwater discharge on coastal fishery production: emphasizing on fish community

小路 淳^{1*}; 杉本 亮²; 本田 尚美³; 富永 修²; 小林 志保⁴; 山田 誠³; 谷口 真人³
SHOJI, Jun^{1*}; SUGIMOTO, Ryo²; HONDA, Hisami³; TOMINAGA, Osamu²; KOBAYASHI, Shiko⁴;
YAMADA, Makoto³; TANIGUCHI, Makoto³

¹ 広島大学, ² 福井県立大学, ³ 総合地球環境学研究所, ⁴ 京都大学
¹Hiroshima University, ²Fukui Prefectural University, ³RIHN, ⁴Kyoto University

陸水流入が沿岸域の生物生産を高めると認識されている。これまでの研究は、陸水のうち河川水を対象としたものがほとんどであり、海底湧水を対象とした事例は少ない。本発表では、国内の4サイトにおいて実施している調査をもとに、沿岸域における魚類を中心とした動物群集に与える海底湧水の影響評価を試みる。

2014年3月～7月に岩手県釜石市および大槌町、山形県遊佐町、福井県小浜市、広島県竹原市、大分県別府市において野外調査を実施した。各サイトに設けた2～7カ所の定点で水温・塩分観測、魚類および餌料生物（表在性生物、埋性生物）の採集、水中カメラによる撮影を実施した。サイト内において物理環境と生物の分布の対応関係を解析した。

海底湧水の多寡の指標となるラドン濃度や塩分と、魚類あるいはそれらの餌料生物の分布密度や出現頻度の間に対応関係が認められた。海底湧水が生物の空間分布に影響を及ぼしていることが示唆された。今後は、さらに細かい時間および空間スケールで環境・生物の動態解析が可能な調査方法を考案しフィールドに応用する予定である。

キーワード: 沿岸域, 水-食料連環, 水産資源, 生物多様性, 海底湧水, 生物生産

Keywords: coast, water-food NEXUS, Fishery resources, biodiversity, submarine ground water, biological production

海底湧水環境の代替指標としての貝殻中 $\delta^{13}\text{C}$ 値の有効性評価 The evaluation of the effectiveness of the $\delta^{13}\text{C}$ signature in bivalve shells as proxy for environment of SGD

富永 修^{1*}; 堀部 七海¹; 西 沙織¹; 杉本 亮¹; 山田 誠²; 小路 淳³; 本田 尚美²; 小林 志保⁴;
谷口 真人²

TOMINAGA, Osamu^{1*}; HORIBE, Nanami¹; NISHI, Saori¹; SUGIMOTO, Ryo¹; YAMADA, Makoto²; SHOJI, Jun³;
HONDA, Hisami²; KOBAYASHI, Shiho⁴; TANIGUCHI, Makoto²

¹ 福井県立大学, ² 総合地球環境学研究所, ³ 広島大学大学院生物圏科学研究科, ⁴ 京都大学フィールド科学教育研究センター

¹Fukui Prefectural University, ²Research Institute for Humanity and Nature, ³Hiroshima University, ⁴Kyoto University

Submarine groundwater discharge (SGD) is often characterized by high concentration of nutrients and documented as an important pathway between land and sea contributing to the biological productivity in coastal waters. However, to our knowledge, no scientific information about the relationship between environmental conditions of SGD and the extent of biological productivity of the primary consumers is available. The carbon stable isotope composition of dissolved inorganic carbon ($\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$) is generally different between SGD (low $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$) and sea water (high $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$). Bivalves record chemical and biological environment-signal in their shell. In this study, to examine whether the $\delta^{13}\text{C}$ of bivalve shell ($\delta^{13}\text{C}_{\text{SHELL}}$) reflect the $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ of the ambient water or not, we conducted the rearing experiments of Manila clam *Ruditapes philippinarum* under laboratory and field conditions. Manila clam was reared at three different salinity in the laboratory; 100% sea water (100 % SW), 80% sea water + 20% underground water (80 % SW) and 60 % sea water + 40% underground water (60 % SW). Water temperature of three salinity groups was maintained at 25 °C and the same amount of diet (*Chaetoceros gracillis*) was fed every day during experiments (3 months). There was a high positive correlation between $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ and salinity ($r^2 = 0.997$, $n = 32$, $p < 0.001$). Although the significant difference among 100 % SW, 80 % SW and 60% SW was not found (ANOVA, $p > 0.05$), the $\delta^{13}\text{C}_{\text{SHELL}}$ of 80 % SW and 60 % SW was tend to be lower than that of 100 % SW. The field experiment was carried out at 6 sites under different SGD condition in Obama Bay, Japan from July to August 2013. Manila clam was reared in the small containers with bottom sand, which were kept at the depth of 2 m under natural condition. There was a high negative linear relation between $\delta^{13}\text{C}_{\text{SHELL}}$ and Radon 222 (^{222}Rn) concentration at surface layer of each rearing site, which is a useful tracer of SGD ($r^2 = 0.920$, $n = 6$, $p < 0.01$). Thus, it seems that the $\delta^{13}\text{C}_{\text{SHELL}}$ shows some possibility of being proxy for environmental reconstitutions of submarine groundwater discharge. However, the value of the $\delta^{13}\text{C}_{\text{SHELL}}$ was lower by about 5 ‰ than that of the $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ of ambient water in the laboratory experiment. It was the possible reason that isotopically light metabolic carbon, derived from food, is incorporated into shell carbonated.

キーワード: 溶存態無機炭素, 代謝由来炭素, 二枚貝貝殻, 炭素安定同位体比, 海底湧水

Keywords: Dissolved inorganic carbon, metabolic carbon, bivalve shell, carbon stable isotope ratio, submarine groundwater discharge

地下ダム構造物による海域へ湧出する地下水の影響把握のための地下水流動モデルの適用 The application of regional groundwater flow model to the underground dam in the ryukyu limestone aquifer

阿部 真己^{1*}; 畑 恭子¹; 安元 純²; 中野 拓治²
ABE, Masami^{1*}; HATA, Kyoko¹; YASUMOTO, Jun²; NAKANO, Takuzi²

¹ いであ株式会社, ² 琉球大学

¹IDEA Consultants, Inc., ²Ryukyu University

沖縄本島南部地域では、地下ダムの建造と、地下ダムにより石灰岩帯水層に貯留された地下水の農業利用が行われており、流域の地下水水質が変化することが予想される。流域海岸部では、地下水が海域に湧水として湧出しているため、地下ダム建造・営農による地下水の水質変動は、サンゴ礁などの海域生態系にも影響を及ぼす可能性があるため、この影響を把握する必要がある。

一方で、地下ダム流域（米須地下ダム流域）は、①石灰岩地質で透水性が高い、②断層が多くある複雑な地形構造で、急勾配な場所が多くある、③連続した洞窟があり、場所によって地下水の流速が速い場所があるなどの特徴を有しており、流れの構造は非常に複雑となっていることが考えられる。また、既往の水質調査結果などから、場所によって地下水の滞留域があり、そのような場所で脱窒による窒素の除去が行われている可能性も示唆され、その証拠となる脱窒菌の存在も確認されている。本研究の対象とする地下ダム流域は、複雑な流れが水質の分布状況・物質収支に密接に係る水域である可能性が高い。

本研究では、地下ダムの運用に伴って、地下水の水質がどのように変動していくかを把握し、海域環境とのかかわりの中で地下ダムとその流域全体の営農運用の計画に資するための物質循環を再現・将来予測できるシミュレーションモデルの構築を目的としている。脱窒作用などの物質収支の機構を再現するには、まず地下ダム流域の複雑な流れの構造を把握することが重要である。本報告の中では、断層・洞窟を含む複雑な地形での地下水の流動シミュレーションを行うため、MODFLOW-USGを実地形・実条件に適用する試みと結果の一部を報告する。

MODFLOW-2005などの一般的な飽和地下水モデルでは、急こう配な地形において、流れが分断されてしまうなど、不自然な計算結果になってしまうことがあり、格子サイズやパラメータ等を慎重に選定する必要があり、オペレーションが難しい。本報告では、急こう配な地形であっても、ある程度粗い格子設定でも安定に自然な自由水面が計算できるMODFLOW-USGを用いている。また、洞窟構造は、①水位の実測データとパラメータの逆推定ツールであるPESTを用いて、透水係数の空間的な分布を表現するアプローチと平行して、②地下水流れと洞窟流れをフルカップリングしているMODFLOW-USGを用いた計算を実施した。PESTを用いたパラメータ推定の結果から、洞窟があるとされている場所に連続的に透水係数が高い格子が出現することを確認できた。洞窟構造を透水係数の調整により疑似的に表現した場合と、実際に洞窟構造を表現した場合の非定常な流れの差異がどのように出るのかを確認した。

キーワード: 地下ダム, 地下水流動, 洞窟流れ, PEST, 海底湧水

Keywords: Underground dam, groundwater flow, conduit flow, PEST, submarine water discharge

淀川河口への海水遡上に関する流動モデル解析 Analysis about the condition of sea water intrusion to Yodo River estuary by the fluid model

中村 一平^{1*}; 小山 悠人¹; 中田 聡史¹; 林 美鶴¹
NAKAMURA, Ippei^{1*}; KOYAMA, Yuto¹; NAKADA, Satoshi¹; HAYASHI, Mitsuru¹

¹ 神戸大学

¹ Kobe University

淀川の感潮域では近年、有毒海洋性植物プランクトン *Alexandrium tamarense* による赤潮が発生し、これによる貝毒が問題となっている。海水が遡上すると、海洋性植物プランクトンが増殖可能となる。そこで、現場観測を行って海水遡上状況を把握し、これを流動モデルで再現することにより海水遡上条件を検討した。

淀川感潮域の流動は、河川出水流、河口循環流、潮流、吹送循環流の合力である。海水遡上に対してはこれらが概ね同じ割合で寄与していた。

キーワード: 淀川, 海水遡上, 赤潮, 貝毒, 流動モデル

Keywords: Yodo River, sea water intrusion, Red tide, shellfish poison, fluid model

北海道・忍路湾における pH の日周変動 — 海洋酸性化が沿岸生態系に及ぼす影響
評価・予測に必要なデータ取得 —
Diurnal variation of pH in Oshoro Bay, Hokkaido: A monitoring study assessing and
projecting impacts of ocean acidific

高尾 信太郎¹; 藤井 賢彦^{1*}
TAKAO, Shintaro¹; FUJII, Masahiko^{1*}

¹ 北海道大学大学院地球環境科学研究院

¹ Faculty of Environmental Earth Science, Hokkaido University

沿岸生物種は、外洋生物種が 2100 年までに経験するような低 pH (<7.9) 環境下に現在も曝されている。このような環境下に生息する沿岸生物種に対する海洋酸性化の影響を正しく評価するためには、pH をはじめとする環境パラメータのモニタリング観測が必要不可欠である。本研究では熱帯・亜熱帯域に比べて知見の少ない亜寒帯域における pH の日周変動を調査するため、北海道・忍路湾において 2013 年から 2014 年までの不定期モニタリングを実施した。pH 計の測定値は平均で 8.02、最大で 8.47、最小で 7.33 まで変動していた。pH の日周変動幅は季節によって異なっていたが、全ての期間において、日中の pH 上昇と夜間の pH 低下が確認された。一部の例を除き、pH の変動と水温および塩分に有意な関係性が見られなかったことから、その変動には固着生物群による光合成や呼吸活動の関与が示唆された。

キーワード: 亜寒帯, 海洋酸性化, 沿岸生態系, 日周変動

Keywords: subarctic region, ocean acidification, coastal ecosystem, diurnal variation

日本海側の流域圏で進行する越境汚染ストレス：硝酸の三酸素同位体組成を用いた
大気沈着窒素の影響評価
Ongoing stress of transboundary pollution: Assessment of atmospheric N deposition in-
fluence by means of nitrate isotopes

杉本 亮^{1*}; 根岸 晃芸¹; 浅井 和由²; 宮下 雄次³; 田原 大輔¹
SUGIMOTO, Ryo^{1*}; NEGISHI, Kouki¹; ASAI, Kazuyoshi²; MIYASHITA, Yuji³; TAHARA, Daisuke¹

¹ 福井県立大学, ² 株式会社 地球科学研究所, ³ 神奈川県温泉地学研究所
¹Fukui Prefectural University, ²Geo Science Laboratory, ³Hot Springs Research Institute of Kanagawa Prefecture

Anthropogenic emissions of reactive nitrogen (N) due to fossil fuel combustion and modern agriculture practices have dramatically increased in global scale. In the Japanese watershed along the Sea of Japan, large amounts of reactive N emitted from northeastern Asia have deposited onto forest ecosystems, and thus N concentrations in rivers and groundwaters have been increased year to year. Remotely modified N concentrations of terrestrial waters in local watersheds would affect coastal ecosystems. However, quantitative influence of N deposition on the watershed along the Sea of Japan is still unclear. In this study, we assessed the influence of atmospheric reactive N deposition on the watershed in Wakasa Bay by means of the ¹⁷O anomaly ($\Delta^{17}\text{O}$) in nitrate, which is an alternative tracer for atmospheric nitrate ($\text{NO}_3^-_{\text{atm}}$). As a result, fractions of $\text{NO}_3^-_{\text{atm}}$ in stream waters of the Kita River observed in 2014 changed from >10% in winter to 6% in summer. This seasonal variation corresponded to monthly changes in reactive N (= NO_3^- , NH_4^+ and others) deposition rates onto the watershed. However, most of NO_3^- in stream water was derived from remineralized NO_3^- by nitrification ($\text{NO}_3^-_{\text{re}}$) within the watershed. Apparent nitrification rates estimated by $\Delta^{17}\text{O}$ were significantly higher than total N deposition rates. Although fractions of $\text{NO}_3^-_{\text{atm}}$ in groundwater and spring water (mean \pm SD = 4.3 \pm 0.3%), which was dated from 2001 to 2009 by SF_6 , were significantly lower than that in stream water, yearly variation in $\text{NO}_3^-_{\text{atm}}$ fractions showed exponential increasing trend in the recent decade. These results imply that atmospheric reactive N deposition would affect severe influence on not only the forest ecosystem but also the coastal ecosystems.

キーワード: 越境汚染, 大気沈着窒素, 三酸素同位体, 窒素飽和, レトロスペクティブ解析, 日本海

Keywords: transboundary pollution, atmospheric nitrogen deposition, triple oxygen isotope, nitrogen saturation, retrospective analysis, Sea of Japan

東部瀬戸内海における基礎生産 Primary production in the eastern part of the Seto Inland Sea

安佛 かつり^{1*}; 一見 和彦²; 山口 一岩³; 大美 博昭⁴; 秋山 諭⁴; 宮原 一隆⁵; 山本 昌幸⁶; 笠井 亮秀⁷

ANBUTSU, Kaori^{1*}; ICHIMI, Kazuhiko²; YAMAGUCHI, Hitomi³; OMI, Hiroiaki⁴; AKIYAMA, Satoshi⁴; MIYAHARA, Kazutaka⁵; YAMAMOTO, Masayuki⁶; KASAI, Akihide⁷

¹ 京都大学森里海連環学教育ユニット, ² 香川大学瀬戸内圏研究センター, ³ 香川大学大学院農学研究科, ⁴ 大阪府立環境農林水産総合研究所, ⁵ 兵庫県水産技術センター, ⁶ 香川県水産試験場, ⁷ 京都大学フィールド科学教育研究センター
¹CoHHO Educational Unit, Kyoto Univ, ²Seto Inland Sea Regional Res Cntr, Kagawa Univ, ³Faculty of Agriculture, Kagawa Univ, ⁴Res Ins Env Agr Fish, Osaka Pref, ⁵Hyogo Fish Technol Inst, ⁶Kagawa Pref Fish Exp Stn, ⁷FSERC, Kyoto Univ

瀬戸内海は、かつて富栄養の海として捉えられていたが、近年では、栄養塩負荷削減に伴ってその状態が解消しつつある。その一方、ノリ養殖に対する栄養塩不足や多くの魚介類の漁獲量減少など新たな問題が生じている。これらの諸問題は、高度成長期以降現在まで、生態系構造が変化してきていることを示唆している。瀬戸内海においては、1960-90年代に広域で基礎生産速度が測定されているが、近年のデータは限られている。そこで本研究では、東部瀬戸内海で基礎生産量を測定し、栄養塩負荷削減に伴う基礎生産構造の変化を調べた。

本研究では、大阪湾に2定点、播磨灘に2定点、備讃瀬戸に2定点、燧灘に1定点を設けた。各定点において、透明度の2.8倍を海面への入射光が1%となる深度(補償深度)と仮定し、入射光の100, 48, 33, 14, 8.3%となる各深度から採水を行った。試水は300 μmメッシュのネットで濾して動物プランクトンを除去した。ただし、細胞径が300 μm以上となる大型珪藻種が観察されたときはネットを介さなかった。持ち帰った試水を1Lのポリカーボネイト容器2本に分取し、¹³Cで標識した重炭酸ナトリウムを全炭酸量の10%になるように添加した後、人工気象器で約2時間培養した。培養温度は現場表層水温に合わせ、光強度は、最大光度を460-480 mol m⁻² sec⁻¹とし、遮光フィルターにより減衰させ各深度での値に合わせた。培養時間経過後、ガラス繊維ろ紙(GF/F)を用いて懸濁物を捕集し、培養前後の濾物に含まれる¹³C量と現場水の全炭酸量から基礎生産量を求めた(Hama et al., 1983)。基礎生産の測定は、2013年9月、11月、2014年2月、5月、8月に行った。

測定された基礎生産量は測定日間で差異がみられた(Fig. 1)。基礎生産量は、2013年9月、11月および2014年8月と比べて、2013年2月、5月は全体的に低い値を示した。1979-80年(Uye et al., 1986)と1993-94年(Tada et al., 1998)の調査では、本研究と同様に、基礎生産量が冬季(1月)に低いことが示されている。一方、彼らの春季(4月)の測定結果は、夏季や秋季との間に差異はなく、本研究の春季(5月)の結果とは異なっていた。

夏・秋季の調査(2013年9月、11月、2014年8月)では、基礎生産は地点間で大きく変動した。大阪湾の湾奥と燧灘では調査期間を通じて低い値を示し、大阪湾の湾奥、播磨灘、備讃瀬戸の測点は調査日ごとに大きく変動した。調査区域での最大値は、2013年9月、11月には播磨灘で、2014年8月には大阪湾の湾奥でみられた。2014年2月、5月、8月の基礎生産は、大阪湾の湾奥で最大値を示し、播磨灘、備讃瀬戸、燧灘の順で低下した。一方、2013年9月、11月は上記と異なる分布性状を示し、備讃瀬戸の定点でも高い基礎生産がみられた。これは、備讃瀬戸での低い値について記述したTada et al. (1998)の結果とは異なるものであった。

夏・秋季の調査における基礎生産の最大値は、1.0-1.6 gC m⁻² day⁻¹であり、これは1993-94年の夏・秋季の最高値と同程度であった。しかし、前述したように5月の値が全体的に低かったことや、2014年8月の備讃瀬戸と燧灘の値が1993-94年7月・10月の値より低いなど、過去との相違点もみられた。今後、基礎生産構造の変化について議論を深めていくためにも、本研究でみられた基礎生産の分布変動を引き起こした要因について、解析を進めていく必要がある。

引用文献

Hama et al. (1983): *Marine Biology*, **73**, 31-36.

Tada et al. (1998): *J. Oceanogr.*, **54**, 285-295.

Uye et al. (1987): *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **42**, 421-434.

キーワード: 瀬戸内海, 一次生産, 植物プランクトン

Keywords: the Seto Inland Sea, primary production, phytoplankton

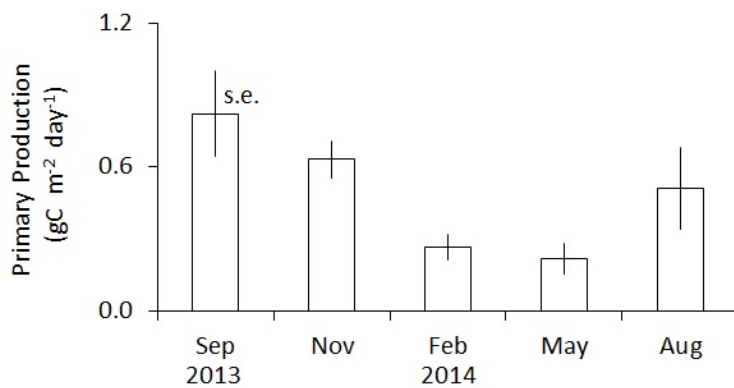


Fig. 1 Primary production in the eastern part of the Seto Inland Sea .

元素組成と炭素・窒素安定同位体比から推定する河口干潟の底生微細藻類と栄養塩の分布特性 Distribution of benthic microalgae and nutrients in tidal flat sediments estimating from chemical composition and $\delta^{13}\text{C}$

山本 真里子^{1*}; 原田 尚美²; 佐藤 都²; 上野 振一郎¹; 杉谷 健一郎¹
YAMAMOTO, Mariko^{1*}; HARADA, Naomi²; SATOU, Miyako²; UENO, Shinichiro¹; SUGITANI, Kenichiro¹

¹ 名古屋大学大学院環境学研究科, ² 独立行政法人海洋研究開発機構

¹Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, ²Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

微細藻類は環境変化に適応し群集組成を変化させることから、これまで海水準変動など古環境推定や淡水の有機汚濁指標などに利用されてきた。底生の微細藻類である付着珪藻は、一般に環境条件に対する適応範囲が広く、主に光と摂食圧が群集組成の制御要因とされている。しかし物理環境が近い場所では種によって異なる栄養塩要求が群集組成に影響を与える可能性がある。そこで本研究では、底生微細藻類が食物連鎖の基盤を担っている干潟を対象に、その群集組成と栄養塩の関係を明らかにすることを目標として、堆積物のクロロフィルaと各元素および炭素・窒素安定同位体比分布を分析した結果を報告する。

対象地は名古屋港最奥部に位置する藤前干潟である。2014年7月に堆積物表層試料(深さ1.5cm)を採取した。合計25個の試料について、クロロフィルaを分光光度計、各元素組成(TOC, TN, SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO, MnO, CaO, Na₂O, K₂O, P₂O₅, Cr, Cu, Pb, Zn, Zr)を蛍光X線分析装置で、 $\delta^{13}\text{C}$ および $\delta^{15}\text{N}$ は安定同位体比質量分析装置を用いて分析を行った。

高い相関関係を示した組み合わせはクロロフィルaとTN(全窒素)($r=0.70, p<0.001$)、次いでクロロフィルaとTOC(全有機炭素)($r=0.68, p<0.001$)であったが、クロロフィルaとexcess-Pとの相関は低かった($r=0.09, p>0.5$)。次にクロロフィルa、および各元素濃度を用いて主成分分析を行ったところ、粗粒な鉱物を形成あるいはそれらに吸着・結合するAl₂O₃, CaO, K₂Oのグループ(グループ1)、細粒な鉱物に吸着・結合するCr, Cu, Pb, Zn, Fe₂O₃, P₂O₅のグループ(グループ2)、iii)有機物であるTOC, TN, クロロフィルa(グループ3)に分類できた。そしてグループ1は河川流入口に近い場所に、グループ2は河川流入口から離れた場所に、そして両者の間にグループ3が分布することが分かった。また炭素安定同位体比について、表層試料(平均-25.99‰)は全て河川懸濁物(平均-25.94‰)に近い値を示し、藤前干潟堆積物の有機物起源は河川から供給される陸源性有機物あるいは浮遊性藻類が卓越していたことを示した。干潟底生微細藻類は、植物プランクトンに比べ重い $\delta^{13}\text{C}$ 値(約-18‰)を示すと言われている。今回の分析で堆積物の最も重い $\delta^{13}\text{C}$ の値は-24.6‰であったことから、堆積物に対する底生微細藻類の寄与は小さいと考えられる。

今後は区分した堆積物の特徴と微細藻類の組成について検証し、自生の底生微細藻類について栄養塩分布との関連性を明らかにする予定である。

キーワード: 底生微細藻類, 栄養塩, 干潟堆積物

Keywords: benthic microalgae, nutrients, tidal flat sediments

駿河湾沿岸域の海底湧出地下水の評価に向けた地化学調査 Geochemical investigation for evaluation of submarine groundwater discharge in Suruga Bay

小野 昌彦^{1*}; 井川 怜欧¹; 町田 功¹; 丸井 敦尚¹; 村中 康秀²; 神谷 貴文²; 大山 康一²; 伊藤 彰²
ONO, Masahiko^{1*}; IKAWA, Reo¹; MACHIDA, Isao¹; MARUI, Atsunao¹; MURANAKA, Yasuhide²;
KAMITANI, Takafumi²; OHYAMA, Koichi²; ITO, Akira²

¹ 産業技術総合研究所, ² 静岡県環境衛生科学研究所

¹National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, ²Shizuoka Institute of Environmental and Hygiene

海底地下水湧出 (SGD) は陸域から海域への重要な物質輸送経路と考えられており、沿岸域での普遍的な現象であると想定されている。本研究の対象地域である駿河湾は富士山南麓地域に接しており、透水性の良い溶岩流が堆積し活発な地下水流動が存在している。そのため、沿岸域において多量の地下水湧出が生じる可能性がある。

本地域では、海底地下水湧出の空間分布を把握するために、マルチビームソナー、サイドスキャンソナー、サブボトムプロファイラーなどの物理探査を行っている。本研究では、ラドンやラジウムなど地化学トレーサーを用いて、この地域の海底地下水湧出の評価を試みた。発表では、駿河湾におけるこれらのトレーサーの空間分布図と海底地下水湧出との関係について議論する。

キーワード: 海底地下水湧出, 駿河湾, 地化学トレーサー

Keywords: submarine groundwater discharge, Suruga Bay, geochemical tracer

日本沿岸域におけるラドン濃度の地域的差異に関わる環境要因の検討 Investigation of environmental factors related to regional differences in radon concentration in Japanese coasts

本田 尚美^{1*}; 谷口 真人¹; 小野 昌彦²; 細野 高啓³; 梅澤 有⁴; 杉本 亮⁵; 山田 誠¹
HONDA, Hisami^{1*}; TANIGUCHI, Makoto¹; ONO, Masahiko²; HOSONO, Takahiro³; UMEZAWA, Yu⁴; SUGIMOTO, Ryo⁵; YAMADA, Makoto¹

¹ 総合地球環境学研究所, ² 産業技術総合研究所, ³ 熊本大学, ⁴ 長崎大学, ⁵ 福井県立大学

¹Research Institute for Humanity and Nature, ²National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, ³Kumamoto University, ⁴Nagasaki University, ⁵Fukui Prefectural University

In recent years, submarine groundwater discharge (SGD) have received considerable attention in hydrology and oceanography. Radon-222 (^{222}Rn) is a useful tracer to detect SGD because ^{222}Rn in groundwater has extremely high concentration compared with surface waters. In Japanese coasts, many researches have been done SGD observations using ^{222}Rn tracer techniques. If we compiled ^{222}Rn data from many coasts with different environmental condition, we can get generality related environmental parameters to SGD. Therefore, objectives of this study are to compile the existing observed data in Japanese coasts and to evaluate environmental parameters concerning the regional difference in ^{222}Rn activities. Firstly, we consolidated ^{222}Rn data in coastal waters at 10 sites from the northern part to the southern part of Japan. We also prepared environmental parameters in each watershed such as precipitation, geological data and geomorphological characteristics to examine and effect of driving forces on the regional difference of ^{222}Rn activity. In this presentation, we will show the regional difference of ^{222}Rn activities in Japanese coasts and statistical analysis results of relationship between compiled ^{222}Rn data and environmental parameters.

Keywords: ^{222}Rn , SGD

水の安定同位体から見た福井県小浜市若狭地域における陸域と海域の地下水のつながり
Using stable isotopes to measure the groundwater connection between land and sea in the Wakasa area

山田 誠^{1*}; 杉本 亮²; 小路 淳⁴; 本田 尚美¹; 小林 志保³; 富永 修²; 谷口 真人¹
YAMADA, Makoto^{1*}; SUGIMOTO, Ryo²; SHOJI, Jun⁴; HONDA, Hisami¹; KOBAYASHI, Shiho³;
TOMINAGA, Osamu²; TANIGUCHI, Makoto¹

¹ 総合地球環境学研究所, ² 福井県立大学, ³ 京都大学, ⁴ 広島大学

¹Research Institute for Humanity and Nature, ²Fukui Prefectural University, ³Kyoto University, ⁴Hiroshima University

The Wakasa area within Obama city, Fukui Prefecture is a very small area where the mountain and the sea connect. Though groundwater is abundant, there is no conspicuous surface outflow in this area. Groundwater may flow into the sea directly. In order to clarify the connection of groundwater between the seabed of the coastal zone and the land, we sampled groundwater under the seabed and at inland wells, and analyzed the water's stable isotopes in this area. The piezometers for collecting groundwater samples in the seabed (depth: 1m) were installed in eight places along the shoreline. The groundwater from inland well was collected at six wells. The results of isotope analysis of these samples show that the groundwater from the seabed was different from groundwater from the inland well. The origin of groundwater collecting near the shore line recharged from a low elevation area. This result shows the possibility that the groundwater from inland well at the village flows at a deeper place, and discharges at a more offshore seabed.

キーワード: 海底湧水, 水の安定同位体, 流出域

Keywords: Submarine groundwater discharge, Stable isotope, Discharge area

小浜湾浅海域における塩水性地下水の湧出量および栄養塩輸送量の季節変化 Seasonal variation in saline submarine groundwater discharge and associated nutrient fluxes into Obama Bay

杉本 亮^{1*}; 大宮 健司¹; 山田 誠²; 谷口 真人²
SUGIMOTO, Ryo^{1*}; OMIYA, Kenji¹; YAMADA, Makoto²; TANIGUCHI, Makoto²

¹ 福井県立大学, ² 総合地球環境学研究所

¹Fukui Prefectural University, ²Research Institute for Humanity and Nature

Submarine groundwater discharge (SGD) is now recognized as a major conveyor of dissolved materials from land to the sea. Nutrient loads carried by SGD are commonly calculated as the product of SGD rate and concentrations of coastal fresh groundwater with the assumption that chemical transport through the coastal aquifer is conservative. However, most of the discharging water is usually saline groundwater (recirculated seawater) except in some karstic, volcanic and glacial areas where it is composed principally of fresh meteoric water. Recent studies have shown that biogeochemical processes in the subterranean estuary would have an important effect on concentrations of the dissolved species. Therefore, it still remains unclear how to identify endmember concentrations in a subterranean estuary for calculating SGD-derived nutrient fluxes. In this study, to evaluate nutrient fluxes through the saline SGD and their seasonality, we conducted monthly observation from March to November 2014 in the shallow coast in Obama Bay using a Lee-type seepage meter for SGD rate and piezometers for nutrient endmembers in the subterranean estuary. Estimated SGD rates which mainly composed of recirculated seawater ranged from 0.01 cm d⁻¹ to 3.86 cm d⁻¹. This seasonal variation was dominated by integrated precipitation for 30 days before observation date with time lags of 1.5-2.5 months, suggesting that the recharging water takes time to percolate through the unsaturated zone to the water table. Assuming that endmember of nutrients concentrations is derive from saline groundwater in 0.9 m beneath the bottom, fluxes of dissolved inorganic nitrogen (DIN), dissolved inorganic phosphorous (DIP) and dissolved silica (DSi) were 1.9-479.7 μmol m⁻² d⁻¹, 0.1-15.1 μmol m⁻² d⁻¹ and 7.4-1092.6 μmol m⁻² d⁻¹, respectively. If we used nutrient concentrations in fresh groundwater, fluxes of DIN and DSi were overestimated while DIP was underestimated, because nutrient concentrations in fresh groundwater were enriched in DIN and DSi while depleted in DIP. These results show that biogeochemical processes in subterranean estuary affect crucial impact on nutrient loads carried by saline SGD.

キーワード: 塩水性海底湧水, 栄養塩フラックス, 季節変化, 地下エスチュアリー

Keywords: saline submarine groundwater discharge, nutrient flux, seasonal variation, subterranean estuary