

生物多様性と環境経済を考慮した琉球列島の赤土流出防止対策

Preventing red-soil runoff in the Ryukyu Islands, Japan, considering biodiversity and environmental economics

*山野 博哉¹

*Hiroya Yamano¹

1. 国立環境研究所

1. National Institute for Environmental Studies

琉球列島に代表される亜熱帯島嶼においては、過去数十年間の土地利用の改変と、それともなう赤土等の流出が増加しており、農地から河川、沿岸にかけて生物多様性が低下していることが指摘されている。沖縄県では赤土等流出防止条例が1995年に制定され、開発行為による赤土等流出に関する規制が行われるようになったが、耕作地からの赤土等流出防止対策に関しては未だ実効的な対策は不十分な状況である。

赤土等流出防止対策を行い、生物多様性の保全を行うためには、生物分布の基づく削減目標値の設定、土砂流出モデルによる要対策農地の抽出、対策の経済評価という一連の学際的取り組みが必要である。本発表では、(1)過去記録と現在の比較及び環境の異なる流域の比較により、生息環境の改変に対する生物多様性の変化を明らかにし、保全目標とそれに必要な赤土等の流出量の削減目標を設定する。(2)計測器及び定点カメラによって赤土等の流出の観測を行い、流出モデルを構築・改良・適用して、対策優先農地の抽出を行う。(3)対策の費用効果分析とともに、聞き取り及びアンケート調査によって各種対策の実現可能性を検討し、保全目標と対策コストの最適化を行い、現実的な対策を提案する。という一連の赤土流出防止に資する枠組を構築し、それを沖縄県久米島に応用した例を紹介する。

融雪と漁業生産をつなぐ陸海連関

Land-sea pathways between snowmelt and fishery production

*中田 聡史¹

*Satoshi Nakada¹

1. 神戸大学海事科学研究科

1. Graduate School of Maritime Sciences, Kobe University

本研究では、噴火湾と湾に接する集水域を実験フィールドとして、融雪出水とホタテガイ稚貝生産とを関係づけている陸海連関を解明した。まず、水文環境と海洋環境を時空間的に高解像度で再現可能な陸海統合シミュレーションを実施し、出力される再現計算データを用いてホタテガイ浮遊幼生を模した粒子追跡シミュレーションを実施した。また、河川において観測された河川流量および栄養塩濃度データを、主に融雪期に注目して解析した。その結果、河川からの溶存無機態窒素フラックスは、農地からの寄与が大きく、溶存無機態窒素濃度の時間変化よりもむしろ河川流量の時間変化に支配されていた。河川出水と海洋環境の関係を調べると、融雪出水による淡水フラックスが沿岸海域において時計回りの流動場を強化させており、時計回りの流動場が溶存無機態窒素を沿岸に沿って一様に輸送していることがわかった。このことは、融雪出水に伴って農地から河川を通じて排出された多量の陸起源の栄養塩が噴火湾沿岸域の植物プランクトン等の生物生産を高めた結果、ホタテガイ母貝の摂餌状態が改善されて産卵量と稚貝密度が増大することを示唆している。噴火湾を代表する沿岸漁業であるホタテガイの稚貝生産と融雪出水には極めて高い相関関係があることがわかった。このような陸海連関が、特に融雪期において陸域の農業と海域の養殖業を強く結びつけていると考えられる。沿岸域における農業と漁業が持続的かつ協働的であるための統合的管理を目指すには、陸海連関を認識することが不可欠である。

キーワード：陸海連関、融雪出水、栄養塩、沿岸漁業生産

Keywords: Land-sea pathway, Snowmelt runoff, Nutrients, Coastal fishery production

ラドン同位体を用いた九州東部リアス式海岸地域における海底湧水環境評価

Evaluation of submarine groundwater discharge in a ria coast at the eastern Kyushu island using Rn isotopes

西村 碩教¹、大竹 周作²、宮村 和良²、*杉本 亮¹

Hiroyuki Nishimura¹, Shusaku Otake², Kazuyoshi Miyamura², *Ryo Sugimoto¹

1. 福井県立大学海洋生物資源学部、2. 大分県農林水産研究指導センター

1. Faculty of Marine Biosciences, Fukui Prefectural University, 2. Oita Prefectural Agriculture, Forestry and Fisheries Research Center

リアス式海岸が発達する沿岸海域は、陸域の地下水が一カ所に集中しやすい地形的特性を有するため、海底湧水が生じやすいと考えられている。しかしながら、その実態は十分には明らかにされていない。そこで、リアス式海岸が発達する九州東岸に位置する大分県の猪串湾を対象フィールドとし、²²²Rnを用いて海底湧水の実態を明らかにするとともに、その湧出量や栄養塩輸送量を評価した。

キーワード：海底湧水、リアス式海岸、ラドン222

Keywords: Submarine groundwater discharge, Ria coast, ²²²Rn

亜熱帯マングローブから海域への栄養塩・懸濁物流出特性の季節間比較

Seasonal variation in dissolved and particulate nutrient delivery from two subtropical mangroves to outer ocean

*宮島 利宏¹

*Toshihiro Miyajima¹

1. 東京大学 大気海洋研究所 海洋地球システム研究系 生元素動態分野

1. Marine Biogeochemistry Group, Division of Ocean-Earth System Science, Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo

河口域に発達するマングローブ生態系が有する固有の生態系機能として、マングローブ自身の一次生産によって大気中のCO₂を固定して生態系内に隔離する働き、固定した有機炭素の一部を外洋側に放出して沿岸海域の炭素循環と水産資源生産を活性化する働き、固定した有機炭素の一部を海面下で無機化して溶存無機炭素(DIC)として放出することにより沿岸海域のpHを下げる作用、河川を通して陸域から沿岸海域へ流入する栄養塩等の物質負荷を抑制するフィルター作用などが代表的なものとして挙げられる。これらの機能はグローバル・スケールで見ると、陸域・海域相互作用や大気中CO₂濃度の変動に対して大きな貢献をなしていると考えられている。こうした作用の強度は、季節的な気温や降水量の変動の影響を受けて季節変化を示すと考えられるが、マングローブの生態系機能の季節変動を記載した研究例は少なく、特に亜熱帯のマングローブを対象とした研究は極めて限られている。本研究では亜熱帯河口域マングローブにおいて栄養塩・懸濁物の流出特性を異なる季節に調査して比較することにより、マングローブの生態系機能の季節性を明らかにすることを目的とした。沖縄県石垣島の2箇所の河口域マングローブを調査地として、マングローブと海域との境界域と、陸域側からマングローブへの河川流入部とで、3月、6月、9月、12月にそれぞれ集約的な採水を行い、試水中の溶存栄養塩、DIC、懸濁態有機物(POM)の濃度と各種の安定同位体比を測定した。得られたデータは成分濃度または安定同位体比の塩分ダイアグラムの形に整理し、淡水・海水側エンドメンバーの推定と各成分の保存性の解析を行った。この結果に基づき、主として生態系内における栄養塩の動態とDICおよびPOMの生産・流出の面から、亜熱帯マングローブの物質循環の季節的特性について考察するとともに、他の気候条件下のマングローブの場合と比較する。

キーワード：マングローブ、溶存態無機炭素、溶存態無機窒素、懸濁態有機物、塩分勾配、安定同位体比
Keywords: Mangrove, Dissolved inorganic carbon, Dissolved inorganic nitrogen, Particulate organic matter, Salinity gradient, Stable isotope ratio

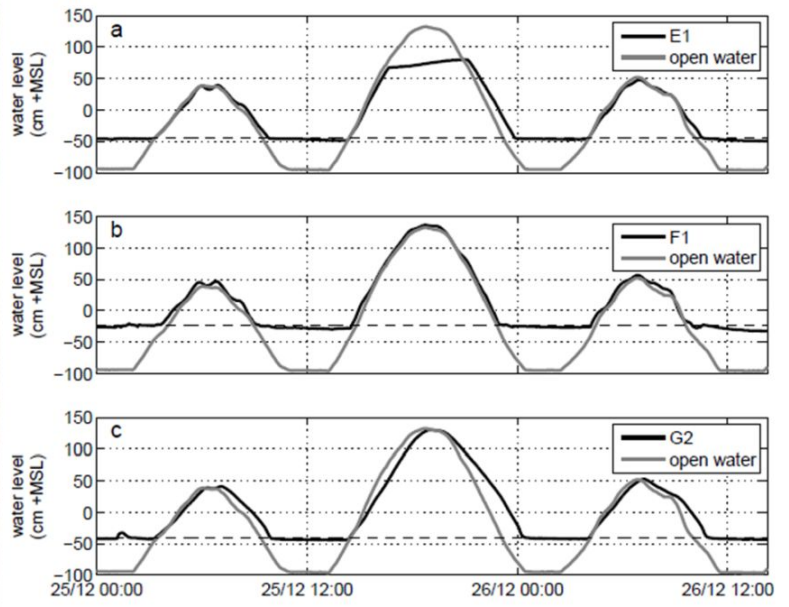
Testing Hydrological Suitability for Mangrove Restoration in Vietnam and Indonesia

*Anne Frederike Van Loon¹, Bram Te Brake^{2,3}, Marjolein H.J. Van Huijgevoort⁴, Roel Dijkma³

1. School of Geography, Earth and Environmental Sciences, University of Birmingham, Birmingham, United Kingdom, 2. Land Environmental Engineering, Ede, the Netherlands, 3. Hydrology and Quantitative Water Management Group, Wageningen University, Wageningen, the Netherlands, 4. Program in Atmospheric and Oceanic Sciences, Princeton University, Princeton, USA

Mangrove restoration projects, aimed at restoring important values of mangrove forests after degradation, often fail because hydrological conditions are not properly restored. We present a simple, but robust methodology to determine hydrological suitability for mangrove species, which can guide restoration practice. In 15 natural and 8 disturbed sites (i.e. disused shrimp ponds) in three case study regions in south-east Asia, water levels were measured and vegetation species composition was determined. Using a hydrological classification for mangroves, sites were classified into hydrological classes, based on duration of inundation, and vegetation classes, based on occurrence of mangrove species. In the natural sites, hydrological and vegetation classes were similar, showing a clear differentiation of mangrove species between wet and dry sites. Application of the classification to disturbed sites showed that in some locations hydrological conditions had been restored enough for mangrove vegetation to establish, in some locations hydrological conditions were suitable for various mangrove species but vegetation had not established naturally, and in some locations hydrological conditions were too wet for any mangrove species (natural or planted) to grow. We quantified the effect that removal of obstructions such as dams would have on the hydrology and found that failure of a restoration project at one site could have been prevented. In this presentation we will discuss the use of a hydrological classification in mangrove restoration projects compared to using elevation only. We conclude that the hydrological classification gives important information about how to restore the hydrology to suitable conditions to improve natural regeneration or to plant mangrove species, which could not have been obtained by estimating elevation only. Based on this research a number of recommendations are given to improve the effectiveness of mangrove restoration projects.

Keywords: mangrove, restoration, hydrological classification, Vietnam, Indonesia



福井県小浜湾における海底湧水由来の熱フラックスの推定 Heat-flux from the submarine groundwater discharge at the coastal area: A case from the Obama Bay, Japan

*山田 誠¹、杉本 亮²、本田 尚美¹

*Makoto Yamada¹, Ryo Sugimoto², Hisami Honda¹

1. 総合地球環境学研究所、2. 福井県立大学

1. Research Institute for Humanity and Nature, 2. Reseach Center for Marine Bioresources, Fukui Prefectural University

Various studies regarding submarine groundwater discharge (SGD) have been performed. Although SGD has been recognized as an important pathway for nutrients transport from land to coastal ocean, SGD also supplies other chemical compositions as well as heat in the form of thermal energy. Especially, there is a difference in water temperatures of SGD and seawater, since groundwater temperature is almost constant throughout the year and seawater temperature varies. However, it is not clear that how much heat energy is supplied by SGD and its associated impacts on coastal ecosystems. Several studies assessing the impact of drainage water from the power plants have indicated that the water temperature has a significant impact on the coastal ecosystems. It highlights the need for assessing the impact of SGD on coastal ecosystems not only by considering the nutrient influx but also by giving equal importance to inflow water temperatures. To investigate this hypothesis, we undertook a study in a coastal area of Obama Bay, Fukui Prefecture, Japan.

In Obama Bay, SGD rate has been estimated using ^{222}Rn and salinity mass balance model (Sugimoto et al., 2016). We calculated the heat quantity from SGD by using the formula $[E = Q * C_p * \Delta T]$, where, E is the heat quantity from SGD; Q is the SGD rate from Sugimoto et al. (2016); C_p is the specific heat at constant pressure; and ΔT is the difference between seawater and groundwater temperatures. The following results are obtained from this study: The SGD resulted in hot and cold heat influx to the coastal areas during winter and summer seasons, respectively. Although SGD rate is observed much less than the river discharge, cold heat flux from SGD was greater than the river during summer. SGD resulted in lowering the sea water temperature at the bay during the summer. In this presentation, we will additionally discuss about the magnitude of this heat-flux as compared to the results of SGD heat-flux at another study site.

キーワード：海底湧水、熱フラックス、沿岸域

Keywords: submarine groundwater discharge, heat flux, coastal area

駿河湾における富士山地下水海底湧出場所の推定（Ⅳ）

Location estimation of submarine groundwater discharge from Mt. Fuji in Suruga Bay(Ⅳ)

*村中 康秀¹、神谷 貴文¹、大山 康一¹、伏見 典晃¹、香田 梨花¹、小野 昌彦²、丸井 敦尚²

*Yasuhide Muranaka¹, Takafumi Kamitani¹, Koichi Ohyama¹, Noriaki Hushimi¹, Rika Koda¹, Masahiko Ono², Atsunao Marui²

1. 静岡県環境衛生科学研究所、2. 産業技術総合研究所

1. Shizuoka Institute of Environment and Hygiene, 2. National 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。また、富士山にもたらされた降水が駿河湾で海底湧出地下水となって湧出し、沿岸海域の生物資源に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、奥駿河湾において海底湧出地下水調査を実施した。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た。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するとともに、海底湧出地下水を採取して水質分析を実施した。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：海底湧出地下水、富士山、遠隔操作無人探査機

Keywords: submarine groundwater discharge (SGD), Mt. Fuji, remotely operated vehicle (ROV)

別府湾および大槌湾の浅海域の一次生産速度に地下水湧出が及ぼす影響 Influence of submarine groundwater discharge on phytoplankton primary productivity at nearshore coasts in Beppu Bay and Otsuchi Bay

*本田 尚美¹、杉本 亮²、三島 壮智³、大沢 信二³、小路 淳⁴、富永 修²、谷口 真人¹

*Hisami Honda¹, Ryo Sugimoto², Taketoshi Mishima³, Shinji Ohsawa³, Jun Shoji⁴, Osamu Tominaga², Makoto Taniguchi¹

1. 総合地球環境学研究所、2. 福井県立大学海洋生物資源学部、3. 京都大学大学院理学研究科付属地球熱学研究施設、4. 広島大学大学院生物圏科学研究科

1. Research Institute for Humanity and Nature, 2. Faculty of Marine Bioscience, Fukui Prefectural University, 3. Institute for Geothermal Sciences Graduate School of Sciences, Kyoto University, 4. Hiroshima University

In recent years, a number of studies have shown that submarine groundwater discharge (SGD) is an alternative nutrient pathway and can drive primary production in coastal seas. However, little is known about a relationship between input of nutrients through the groundwater and response of primary production. To clarify the relationship, we conducted *in situ* measurements of primary productivity (PP) using stable ¹³C tracer method under different strength sites of SGD at nearshore coasts in Beppu Bay and Otsuchi Bay during the summer in 2016. Considering the differences of light intensity and water temperature at each site, we have also incubated the bottles taken from each site under same conditions of light and water temperature on land. In both bays, significant positive relationships between *in situ* PP and *ex situ* PP ($r > 0.91$, $p < 0.01$) indicated that *in situ* PP would be controlled by nutrient availability. In Beppu Bay, *in situ* PP and ²²²Rn activity ranged from 4.4 to 23.3 $\mu\text{g C L}^{-1} \text{h}^{-1}$ and 69.8 to 586.8 Bq m^{-3} , respectively. Although there was no clear relationship between *in situ* PP and ²²²Rn activity, biomass specific PP (P_B , $\mu\text{g C } \mu\text{g chl a}^{-1} \text{h}^{-1}$) showed the positive correlation with ²²²Rn activity. In Otsuchi Bay, *in situ* PP and ²²²Rn activity ranged from 4.5 to 10.7 $\mu\text{g C L}^{-1} \text{h}^{-1}$ and 298 to 765.8 Bq m^{-3} , respectively. ²²²Rn activity did not related to *in situ* PP and P_B . This could be due to low phosphate concentrations in terrestrial confined groundwater. Our experimental studies suggested that the mechanism by which SGD affects phytoplankton production differs from one ecosystem to another.

キーワード：一次生産速度、ラドン222、海底湧水、浅海域

Keywords: Primary productivity, 222Rn, Submarine groundwater discharge, Nearshore coast

付着性二枚貝の貝殻に記録された炭素安定同位体比を用いた海底湧水環境の評価

Evaluation of the environmental condition of Submarine Groundwater Discharge (SGD) by using carbon stable isotope ratio recorded in the shell of sessile bivalve

*富永 修¹、杉本 亮¹、北川 勝博¹、竹内 優¹、山田 誠²、小路 淳³、本田 尚美²、小林 志保⁴、谷口 真人²

*OSAMU TOMINAGA¹, Ryo Sugimoto¹, Katsuhiko Kitagawa¹, Masaru Takeuchi¹, Makoto Yamada², Jun Shoji³, Hisami Honda², Shiho Kobayashi⁴, Makoto Taniguchi²

1. 公立大学法人 福井県立大学、2. 総合地球環境学研究所、3. 広島大学、4. 京都大学

1. Fukui Prefectural Univ., 2. RIHN, 3. Hiroshima Univ., 4. Kyoto Univ.

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. In the present study we investigated two subjects 1) whether the $\delta^{13}\text{C}$ of ambient water reflect the proportion of fresh water flux in SGD, 2) whether the $\delta^{13}\text{C}$ recorded in the shell of the sessile bivalve reflect the that of the ambient water. The SGD flux and the proportion of fresh water flux in SGD were measured by the seepage meter at Kamaiso beach along the Mt. Chokai volcanic coast in June and September 2016. The rock-oyster (*Crossostrea nippona*) was also sampled at Kamaiso Beach and adjacent 3 areas (Mega, Takinoura, Torisaki). There was a positive significant relationship between salinity and the $\delta^{13}\text{C}$ of ambient water ($p < 0.01$). The $\delta^{13}\text{C}$ of the rock-oyster shell was high where the SGD flow rate was high and the positive significant correlation was found between the $\delta^{13}\text{C}$ of the rock-oyster shell and that of ambient water. In order to estimate the proportion of fresh water flux in SGD from the $\delta^{13}\text{C}$ of the rock-oyster shell, we used the two end member mixing equation including DIC concentration of both sea water and underground water. The average proportion of fresh water flux in SGD estimated from the mixing model ranged from 4 % (Torisaki) to 35 % (Mega). These values are higher than those estimated from the $\delta^{13}\text{C}$ of ambient water (1.3 % Torisaki and 18.1 % Mega). The difference of these results are seems to be the difference of local SGD environment around rock-oyster.

キーワード：海底湧水、付着性二枚貝、イワガキ、炭素安定同位体、海底湧水速度、淡水割合

Keywords: Submarine groundwater discharge, sessile bivalve, Rock-oyster, carbon stable isotope ratio, SGD flow rate, the proportion of fresh water flux in SGD

Numerical analysis of the ecosystem responses to the changes of nutrient supply in the Western Seto Inland Sea, Japan

*吉江 直樹¹、水口 隼人¹、中川 美和¹、郭 新宇¹

*Naoki Yoshie¹, Hayato Mizuguchi¹, Miwa Nakagawa¹, Xinyu Guo¹

1. 愛媛大学沿岸環境科学研究センター

1. Center for Marine Environmental Studies, Ehime University

The Seto Inland Sea is a representative coastal sea in Japan, and the nutrients in this region are mainly contributed by the following three nutrient sources; river, sediment, and open ocean. The nutrient supplies from the river and sediment have been reduced through the efforts for environmental cleanup over the last several decades. As a result of such excessive environmental cleanup, oligotrophic condition frequently occurred in this region in recent years. On the other hand, the nutrient supply from the open ocean associated with the oceanic water intrusions is rich in its variations because the oceanic water intrusions are closely associated with the current speed and position of Kuroshio Current south of Japan. In this study, we investigated the responses of the lower-trophic level ecosystem in the Western Seto Inland Sea to the variations of the above three nutrient supply amounts using an ecosystem model. Sensitivity analysis showed that the nutrient supply amount from the open ocean has much larger impact on the ecosystem than the nutrient supply amounts from the river and sediment. Large phytoplankton (diatom) and mesozooplankton (copepod) are dominant in the plankton assemblage in this region and they are highly sensitive to the variations of the nutrient supply amount.

キーワード：生態系モデル、栄養塩、外洋水進入、貧栄養化

Keywords: ecosystem model, nutrient, oceanic water intrusion, oligotrophic condition

海底湧水が魚類の成長に与える影響：カレイ類稚魚のカケージ実験による検証

Effects of submarine groundwater on growth of fishes: a cage experiment for flatfish juveniles

*小路 淳¹、杉本 亮²、本田 尚美³、谷口 真人³

*Jun Shoji¹, Ryo Sugimoto², Hisami Honda³, Makoto Taniguchi³

1. 広島大学大学院生物圏科学研究科、2. 福井県立大学、3. 総合地球環境学研究所

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

海底湧水は河川水に比べて栄養を豊富に含むことから、沿岸海域の生物生産に高く寄与することが近年の研究で明らかにされつつある。しかしながら、これまでの研究は海底湧水と低次生産の関連を対象にしたものがほとんどであり、高次生物への影響を扱った例は世界的にも乏しい。本研究では、魚類の成長に対する海底湧水の影響を評価することを目的として野外ケージ実験を行った。

海底湧水の噴出が確認されている広島県竹原市地先海岸（湧水区）と対照区（阿波島：対岸の無人島）において、ケージ（90×90×30 cm、網目10mm）に水産重要種であるマコガレイ稚魚（人工種苗、平均全長49.7 mm）を6尾収容し（各地点4ケージ）、1週間の成長を比較した。プラスチック板を用いて1週間に付着する微細藻類の炭素生産速度を推定した。環境中の餌料生物をソリネット（40×30 cm、網目1 mm）およびコアサンプラー（10×10 cmの円筒形）により採集するとともに、胃内容物調査、データロガーによる経験水温の解析を行った。

湧水区と対照区の間で水温は大きく異ならなかったが、湧水区における平均日間成長速度は対象区に比べて速かった。稚魚1尾あたりの胃内容物重量は湧水区において有意に多かった。微細藻類の生産速度、稚魚の主要餌料生物であった底生甲殻類の分布密度はいずれも湧水区において高かった。以上の結果から、海底湧水はマコガレイ稚魚の摂餌・成長を促進する効果をもつ可能性が示唆された。

キーワード：水-食料ネクサス、水産資源、海底湧水、カレイ、食性、成長

Keywords: water-food NEXUS, Fishery resources, submarine ground water, flatfish, feeding, growth