

森から海までの物質循環と生物生産

Nutrient circulation and biological production from forests to coastal waters

*山下 洋¹*Yoh Yamashita¹

1.京都大学フィールド科学教育研究センター

1.Field Science Education and Research Center, Kyoto University

沿岸海域の環境と生態系は、河川を通して陸域から大きな影響を受ける。京都府北部を流れる由良川及び大分県国東半島の北部に位置する2河川において、流域の利用構造と栄養塩の循環及び河川下流域から沿岸海域における生物生産との関係を調べた。由良川では、栄養塩や溶存態鉄の供給と森林との間に明確な関係は認められなかった。また、沿岸海域において溶存鉄は基礎生産を律速しなかった。下流や河口域に生息するマクロベントスの一部はセルラーゼを有し、陸上植物起源の有機物を利用した。また、河川を成育場とするスズキ稚魚は、陸上植物を起源とする食物網につながることが示唆された。大分県では、森林率の高い桂川と森林率が低く水田などの割合が高い伊呂波川で比較研究を行った。桂川では上流の森林域において溶存態窒素濃度が高く、栄養塩が森林から供給されている可能性が考えられた。また、ニホンウナギの密度や成長速度、スズキ稚魚の成長速度も桂川の方が高く、桂川の豊かな生物生産力が推察された。

キーワード：物質循環、生物生産、流域

Keywords: nutrient circulation, biological production, watershed

陸水由来の栄養塩が海域生態系に与える影響の多様性

Variety of impacts of the freshwater-derived nutrients on the marine ecosystem

*梅澤 有¹*Yu Umezawa¹

1.長崎大学

1.Nagasaki University

栄養塩を豊富に含む地下水や河川水の海域への流入は、浮遊性藻類や固着性藻類の増殖を促すことで、海域の濾過食動物や、藻食魚類等の水産生物に正の効果を及ぼすことが見込まれる。しかしながら、陸水由来の栄養塩によって成長を促される一次生産者の種類と現存量は、流入地点での基盤特性、滞留時間、栄養塩量、光量（濁度）、塩分、休眠期細胞の存在量等によって大きく変化する。また、増殖した植物プランクトンの種類や量によっても、二枚貝や動物プランクトンの増殖をもたらすものから、毒性を持って魚介類の斃死を引き起こすものまで多様になる。

陸水や雨水がもたらす栄養塩供給を受けて初夏に増殖した植物プランクトンは、易分解性の有機物であることから、躍層下に沈降しバクテリアの分解作用を受けて貧酸素水塊の形成にも寄与することになる。この時、植物プランクトンの種類や環境条件に応じて、窒素、リンだけでなく、ケイ素や硫黄化合物の含有量が異なり、分解速度および酸素消費量が大きく異なることも示唆されている。また、貧酸素水塊は、魚介類の斃死を引き起こすものであるが、貧酸素水塊時に形成される嫌気性のバクテリアマット自体は、従属栄養生物に利用されて、高次生産に寄与する可能性を含んでいる。

このように、陸水由来の栄養塩の流入から始まる連鎖は、水産資源への影響を考えた場合に非常に多様になっているため、流入量・場所だけでなく、海域環境と合わせて長い時間スケールで評価することが必要とされる。

キーワード：海洋生態系、陸水流入、水産資源

Keywords: Marine Ecosystem, Freshwater Input, Fishery Resources

水・エネルギー・食料ネクサス：熱エネルギーとしての陸域地下水利用が沿岸水産資源へ与える影響
Water-energy-food nexus: Effects of groundwater use as heat energy on fishery resources in the coastal area

*谷口 真人¹、杉本 亮²、田原 大輔²、小路 淳³、富永 修²、本田 尚美¹、天谷 祥直⁴、小原 直樹⁵、潮 浩司⁵
*Makoto Taniguchi¹, Ryo Sugimoto², Daisuke Tahara², Jun Shoji³, Osamu Tominaga², Hisami Honda¹,
Yoshinao Amaya⁴, Naoki Ohara⁵, Koji Ushio⁵

1.総合地球環境学研究所、2.福井県立大学、3.広島大学、4.小浜市役所、5.日本工営

1.Research Institute for Humanity and Nature, 2.Fukui Prefectural University, 3.Hiroshima University, 4.Obama City, 5.Nippon Koei Co., Ltd

人間と社会にとって最も基盤的な資源である水、エネルギー、食料は、人口増加と生活環境の変化によって、今後、その需要の増加が予想されている。これらの3つの資源はお互いに密接に連環（ネクサス）し、それぞれの資源間のトレードオフとステークホルダー間のコンフリクトが顕在・潜在する。本研究では、地下水・エネルギー・水産資源のネクサスを、福井県小浜地域で明らかにすることを目的に学際的研究を行った。日本海側沿岸域の積雪地方都市では、少子高齢化による除雪労働力不足により、冬季に相対的に高温な地下水を利用した、地下水消雪の需要が増加している。一方この地下水は、多くの栄養塩を海底地下水として海に供給していることも明らかになっている。また、海底湧水のシグナルであるラドン濃度と海域でのクロロフィルaおよび一次生産量には正の相関があることが明らかになっており、陸域での過剰地下水の利用が、海域での栄養塩供給の変化を通じて、水産資源に影響を与える可能性が指摘されている。本研究では、地下水の3次元モデルを用いた陸—海連環水・物質モデルを構築して、陸域での地下水利用形態の変化が、海域への地下水流出量と供給栄養塩類の変化を通して、小浜湾の水産資源へ与える影響について初期的な評価を行った。その結果、陸域での地下水揚水量を現在の1.5倍にした場合、海底湧水量は現在より5パーセント減少し、水産資源への影響が示唆された。

キーワード：水・エネルギー・食料ネクサス、海底地下水湧水、陸—海相互作用

Keywords: Water-energy-food nexus, submarine groundwater discharge, land-ocean interaction

駿河湾における富士山地下水海底湧出場所の推定(III)

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

*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*Yasuhide Muranaka¹, Takafumi Kamitani¹, Akira Ito¹, Koichi Ohyama¹, Masayuki Watanabe², Masahiko Ono³, Atsunao Marui³

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

1.Shizuoka Institute of Environment and Hygiene, 2.Industrial Research Institute of Shizuoka Prefecture, 3.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、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、水質分析

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

夏季の大槌湾における海底地下水流入量および栄養塩輸送量の推定

Estimation of submarine groundwater discharge and associated nutrient fluxes in Otsuchi Bay, northeast Japan in summer

*本田 尚美¹、杉本 亮²、小路 淳³、富永 修²、谷口 真人¹

*Hisami Honda¹, Ryo Sugimoto², Jun Shoji³, Osamu Tominaga², Makoto Taniguchi¹

1.総合地球環境学研究所、2.福井県立大学、3.広島大学

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

三陸海岸に属する大槌湾は、後背地に豊富に地下水資源が存在していることが知られており、海底からも地下水が湧出している。しかしながら、大槌湾に流入する地下水量および栄養塩輸送量の定量的な評価はなされていない。本研究では、大槌湾に流入する淡水性地下水の湧出量および地下水湧出に伴う栄養塩輸送量を、ラドン濃度と塩分の収支解析より推定した。現地観測は、潮汐の影響を考慮し、2015年8月の大潮期の上げ潮・下げ潮、小潮期の上げ潮・下げ潮の計4回実施した。ラドン濃度と塩分の収支解析より淡水性海底地下水の湧出量を算出した結果、地下水湧出量は $0.10 \sim 1.07 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ day}^{-1}$ (平均: $0.43 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ day}^{-1}$)と推定された。大槌湾集水域における年間水収支法より推定された地下水涵養量は $0.63 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ day}^{-1}$ となり、本研究で得られた地下水湧出量と同程度の結果となった。次に、推定された海底地下水湧出量に陸域地下水の栄養塩濃度を乗じることにより、栄養塩輸送量を見積もった。その結果、DIN輸送量は $73.5 \sim 748.8 \text{ kg day}^{-1}$ 、DIP輸送量は $11.1 \sim 113.2 \text{ kg day}^{-1}$ と推定された。これに対して、河川水によるDIN輸送量は $127.9 \sim 336.6 \text{ kg day}^{-1}$ 、DIP輸送量は $1.7 \sim 7.8 \text{ kg day}^{-1}$ であった。陸水が供給する栄養塩量に占める海底地下水由来の栄養塩量の割合は、DINでは40%、DIPでは33%となった。また、海底地下水によるDIP輸送量は外洋水によるDIP輸送量のわずか0.2%であるのに対し、DIN輸送量は外洋水によるDIN輸送量の7.7%に相当した。成層期における大槌湾では、湾内海水のN/P比はレッドフィールド比よりも低くなることが多い。それ故、海底地下水によるDIN供給は成層期の大槌湾の一次生産過程に無視できない要素となっているだろう。

キーワード：海底地下水湧出、大槌湾

Keywords: submarine groundwater discharge, Otsuchi Bay

日本海側の流域圏で進行する越境汚染ストレス：流域からの窒素流入負荷量の増大が若狭湾沿岸生態系に及ぼす影響の評価

Ongoing stress of transboundary air pollution: Assessment of effects of increasing nitrogen loading from the watershed on coastal ecosystem in Wakasa Bay

*杉本 亮¹、田中 美輝子¹、宮田 佳樹²、長尾 誠也²

*Ryo Sugimoto¹, Mikiko Tanaka¹, Yoshiki Miyata², Seiya Nagao²

1.福井県立大学海洋生物資源学部、2.金沢大学環日本海研究センター

1.Faculty of Marine Biosciences, Fukui Prefectural University, 2.Institute of Nature and Environmental Technology, Kanazawa University

深刻化する東アジア地域の大气汚染が、我が国の森から海にいたる生態系連環を著しく攪乱している。大量の窒素化合物が沈着する日本海側では、森林の窒素飽和が問題となり、一部の河川水の窒素濃度がこの30年間で著しく上昇している。窒素濃度の上昇は、沿岸海域への窒素負荷量の増大を招くため、沿岸海洋生態系にも何らかの影響を及ぼしていることが容易に想像できるが、その実態は明らかにされていない。本研究では、窒素濃度が経年的に増加している河川が陸水流入を支配する若狭湾の枝湾（小浜湾）をモデルフィールドとし、越境大気汚染に端を発する窒素負荷量の増大が、沿岸生態系に及ぼしている影響を現在から過去に遡って評価した。小浜湾から採取した3本の堆積物コアに含まれる²¹⁰Pb_{ex}から推定した平均堆積速度は、1960-1980年代頃には $0.13 \text{ g cm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ と小さかったが、近年では約4倍の $0.55 \text{ g cm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ まで増加していた。安定同位体比を用いて堆積有機物の起源を推定したところ、流入河川から離れた2本の堆積物コアは主に内部生産有機物から構成されており、その起源は経年的にほとんど変化していなかった。湾内の生物生産環境を強く反映していると考えられたこれら2本の堆積物コアでは、流入河川の全窒素濃度の経年変化に同調するように、有意な増加傾向が認められた。これらの結果から、大気沈着に起因する窒素負荷量の経年的な増加は、内部生産有機物量の増大、ひいては堆積速度の増大を招くものと考えられる。このような明瞭な関係性が認められたのは、過去の小浜湾の一次生産過程が窒素によって制限されていたことに加え、護岸や埋め立てにより著しく減少した藻場による栄養塩吸収機能の損失も、水柱の内部生産有機物量の増大に拍車をかけたものと推察される。

キーワード：堆積速度、富栄養化、窒素沈着、日本海

Keywords: sedimentation rate, eutrophication, nitrogen deposition, Sea of Japan

有明海奥部における夏季の溶存酸素濃度とCOD収支の長期変化

Long term variation in dissolved oxygen and COD budgets in the inner area of Ariake Sea in summer

*速水 祐一¹*Yuichi Hayami¹

1.佐賀大学

1.Saga University

【はじめに】

現在、有明海奥部では毎年夏季に貧酸素水塊が発生している。貧酸素水塊の発生はサルボウなど二枚貝の斃死を引き起こすため、問題になっている。閉鎖性内湾における長期的な貧酸素化進行の原因の1つとしては、有機物分解による酸素消費量の増加が疑われる。有明海奥部における有機物量の指標としては、COD（化学的酸素要求量）のモニタリングが行われてきた。そこで、同時に測定された溶存酸素濃度とCODのデータを解析し、夏季の底層溶存酸素濃度（DO）の長期変化とその原因を明らかにすることを試みた。

【資料と方法】

用いたデータは佐賀県・福岡県の浅海定線調査データで、データ期間は1972年から2014年である。さらに、湾奥に流入する4つの1級河川（筑後川・矢部川・嘉瀬川・六角川）の流量およびCOD負荷量を解析に用いた。河川流量・COD負荷量は、手塚（2013）に2014年までのデータを追加したものをを用いた。有明海奥部の夏季の底層溶存酸素濃度は、出水による成層強度変化の影響を受けて大きく年々で変動する。そこで、長期変化を明らかにするために、底層DOについて速水ら（2006）の方法で年々の成層強度変動の影響を除いた貧酸素ポテンシャル（ DO_s ）を求め、CODと比較した。さらに、CODの長期変化の原因を明らかにするために、佐賀県・福岡県海域奥部を対象としたボックスモデル解析を行った（Fig.1）。解析期間は1981～2014年である。まず、ボックス1・2に関して、各月について連続する11年間の平均塩分を求め、その値と河川流量からボックス1の塩分収支を計算した。その結果から、ボックス1・2間の海水交換による流量フラックス q を得た。 q と河川流量、河川からのCOD負荷量、および連続する11年間の各月のボックス内の平均CODから、ボックス1のCOD収支を計算した。その結果から、ボックス1内のCODの正味の内部生産量 R を得た。これは、植物プランクトンなどによる有機物生産から、ベントス・動物プランクトンなどによる捕食、バクテリアによる分解を除いた量に相当する。このような解析を1年ずつずらして全期間について実施した。

【結果と考察】

佐賀県海域で平均した7月の DO_s は1970年代から90年代初めにかけて低下し、その後は横ばいからやや回復傾向であった（Fig.2）。海域平均した底層CODは1970年代から90年代初めにかけて増加し、その後はやや減少していた（Fig.2）。 DO_s とCODには強い負の相関があり、 DO_s と11年移動平均したCODの相関係数は-0.94であった。

全期間を平均すると、ボックス1の平均CODは夏季と冬季に高くなる二峰型の季節変化を示した。陸域からのCOD負荷量は7月に特に高くなっていた。海水交換・移流による流出は全ての月で負の値で、湾奥部は常にCODの流出源となっていた。正味の内部生産量は7月のみ負の値で、他の月は全て正の値であった。これは、7月については海域内の植物プランクトンなどによる有機物生産に加えて大量の陸域からの有機物負荷があったため、海域内での有機物生産よりも消費量の方が上回ったためと考えられる。

7・8月のボックス1の平均CODは、佐賀県海域底層と同様に1980年代から90年代初めにかけて増加していた（Fig.3）。7・8月のCOD増加の原因としては、1）初期値（6月の値）の増加、2）内部生産量の増加、3）海水交換・移流による流出の減少、4）陸域からの負荷量の増加が挙げられる。このうち、海水交換による流出量は減少傾向にあり、移流による流出量と陸域負荷は横ばいであった（Fig.4）。初期値は1986年から88年にかけて増加したが、その後は減少していた。一方で、正味の内部生産量は増加していた。これは、長期的に海域で生産された有機物の増加が生じたか、有機物の分解者である植食者の減少が生じたことを示す。同時期に佐賀・福岡県海域の二枚貝漁獲量は減少していた。また、1977年には有明海奥部には546haの力キ礁が分布していたが、漁場整備のために東部から中部海域の力キ礁は除去され、現在は161haまで減少してし

まっている（水産庁，2011）。これらは、植食者の減少が実際に起きていたことを示す。陸域からのCOD負荷が増加していないにもかかわらず、海域のCODが増加していたことは、このCOD増加分が海域で生産された有機物によるものであることを示唆する。さらに、植食者の減少と正味のCOD内部生産量の増加、底層DOの減少が同期して起きていたことは、1980年代から90年代初めにかけての有明海奥部では、二枚貝類の減少→植物プランクトン増加→底層の有機物量増加→貧酸素化進行→二枚貝類の減少という負のフィードバックが生じていた可能性が高いことを示している。

キーワード：長期変動、溶存酸素、COD、ボックスモデル、有明海

Keywords: long term variation, dissolved oxygen, chemical oxygen demand, box model, Ariake Sea

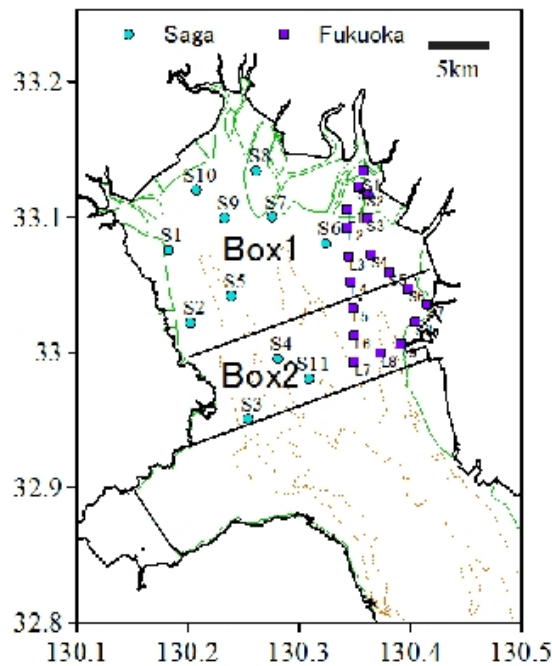


Fig.1 Map of the inner area of the Ariake Sea and location of the observation stations.

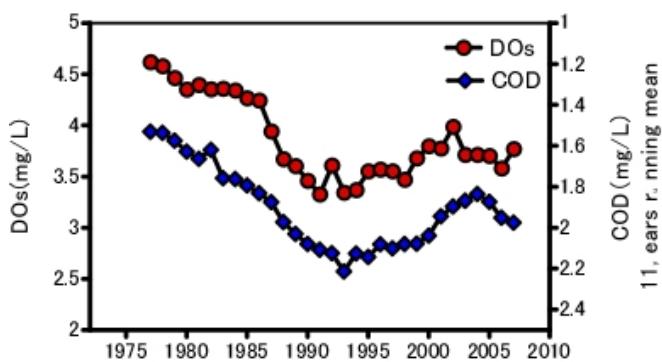


Fig.2 Variations in DO_s and COD (11 years running mean) in the bottom layer in Saga water in July.

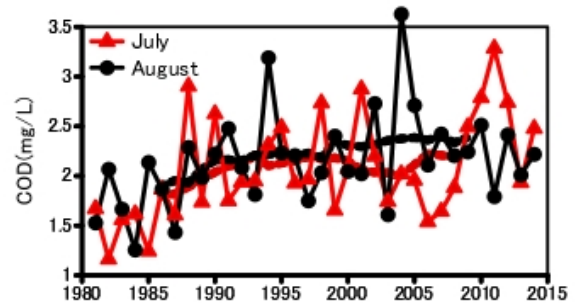


Fig.3 Variation in COD in Box1 in summer. Broken lines are 11 years running mean.

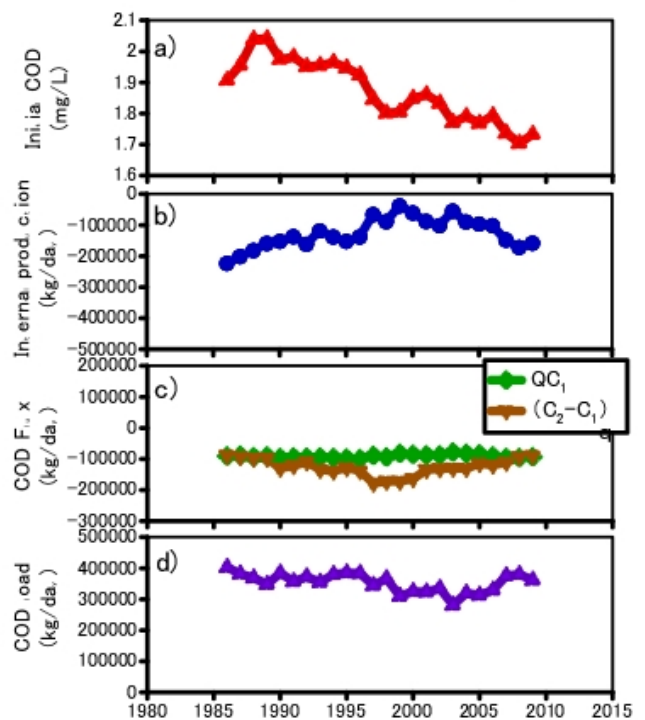


Fig.4 Variations in a) initial COD, b) internal production of COD, c) COD flux by advection and water exchange between box1 and box2 and COD load from rivers.

浜中町のホッキガイ (*Pseudocardium sachalinense*)の安定同位体分析を用いた湿原と沿岸海域のつながりの解明

Stable isotope analysis of surf clam (*Pseudocardium sachalinense*) in Hamanaka Town, Hokkaido, and the connection between Kiritappu Wetland and coastal waters

巴 鑫¹、河内 直子²、渡辺 健太郎³、*藤井 賢彦¹

Xin Ba¹, Naoko Kouchi², Kentaro Watanabe³, *Masahiko Fujii¹

1.北海道大学大学院環境科学院、2.NPO法人霧多布湿原ナショナルトラスト、3.北海道大学厚岸臨海実験所
1.Graduate School of Environmental Science, Hokkaido University, 2.Kiritappu Wetland National Trust, 3.Akkeshi Marine Station, Hokkaido University

北海道浜中町の沿岸水域には、懸濁物濾過食の一次消費者ホッキガイ*Pseudocardium sachalinense*が植物プランクトン、底生微細藻類やデトリタスを餌にして生息しており、地域の漁業を支える水産資源として重要視されている。本研究では、2015年4月から9月にかけて、同町沿岸域において、ホッキガイ（閉殻筋と胃内容物）や海洋懸濁有機物、底質有機物、河川懸濁有機物や河川土壌中の窒素・炭素安定同位体比（ $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ ）と炭素・窒素比（C/N比）を測定し、水温、塩分、クロロフィルa、栄養塩といった物理・化学パラメータの取得・解析に基づき、調査地点における環境条件、ホッキガイとその餌の時空間変化を調べた。また、海域ごとの環境の違いがホッキガイの味に及ぼす影響を把握するために、ホッキガイの食べ比べとアミノ酸分析を実施した。その結果、ホッキガイの味覚は産地ごとに異なり、遊離アミノ酸含量の違いが起因している可能性が示された。また、得られた $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ とC/N値から、付着藻類と底生微細藻類がホッキ貝にとって主要な餌となっている可能性が明らかになった。さらに、ホッキ貝や海洋有機物の $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ とC/N比は河川有機物の値と比べて大きく異なる一方、区域や季節による顕著な違いは見られなかった。これらの結果より、陸起源有機物はホッキガイの餌となっておらず、現在の海洋環境に及ぼす影響は限定的である一方、河川から海洋への陸起源有機物の過度の供給はホッキガイの代謝に影響を及ぼす可能性、および湿原の果たす機能や保全の重要性が示唆された。

キーワード：ホッキガイ、炭素、窒素、安定同位体、有機物、湿原

Keywords: surf clam, carbon, nitrogen, isotope, organic matter, wetland

炭素・窒素安定同位体比を用いた富山湾沿岸の食物網の解析と陸域からの影響把握

Analysis of the coastal food web and influence of terrestrial input in Toyama Bay using $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$

浦沢 知紘¹、*張 勁¹、稲村 修²、神林 翔太¹、服部 祥平³、吉田 尚弘³

Chihiro Urasawa¹, *JING ZHANG¹, Osamu Inamaura², Shota Kambayashi¹, Shohei Hattori³, Naohiro Yoshida³

1.富山大学、2.魚津水族博物館、3.東京工業大学

1.University of Toyama, 2.Uozu Aquarium, 3.Tokyo Institute of Technology

Toyama Bay is a semi-enclosed bay facing the Sea of Japan, which has a distinctive coastal environment. It receives a large amount of freshwater (such as river and submarine groundwater discharge (SGD)) and it is also affected by the Japan Sea water. In this study, to evaluate terrestrial effect on coastal organisms in Toyama Bay, we analyzed food web structure and estimate utilization situation of organic matter and nutrient (NO_3^-) derived from land in food web using stable isotope ratios ($\delta^{13}\text{C}$ ・ $\delta^{15}\text{N}$; $\delta^{15}\text{N}$ ・ $\delta^{18}\text{O}$ in nitrate).

The $\delta^{13}\text{C}$ values of consumers (such as bivalve, crustacea and fish) in the coastal area of Toyama Bay were clearly higher than those in the riverine particulate organic matter (POM). This indicates that consumers do not use terrestrial organic matter as their carbon source. The calculated contribution of benthic microalgae to diet of consumers was about 30 - 60 %, suggesting that ^{13}C -enriched benthic microalgae is an important carbon source for the coastal food web in Toyama Bay. Primary producer in coastal area of Toyama Bay shows much lower $\delta^{15}\text{N}$ values than typical primary producer in other coastal area. In addition, $\delta^{15}\text{N}$ (NO_3^-) values of coastal area in Toyama Bay are also lower than the $\delta^{15}\text{N}$ (NO_3^-) values of deep seawater of Toyama Bay and Japan Sea water. Low $\delta^{15}\text{N}$ (NO_3^-) values were also observed in the rivers and SGD around Toyama Bay. Our results suggest that coastal organisms in Toyama Bay are influenced by terrestrial input of low $\delta^{15}\text{N}$ (NO_3^-) through the rivers and SGD.

キーワード：富山湾、炭素・窒素安定同位体比、食物網

Keywords: Toyama Bay, Carbon and Nitrogen stable isotope ratio, Food web

数値シミュレーションモデルを用いた陸域負荷と大阪湾のイカナゴ漁獲量の対応関係の解明

Numerical Simulation of the relationship between water quality and the catch of sand-eel
in Set-Inland-Sea

*阿部 真己¹、畑 恭子¹、藤原 建紀¹

*masami abe¹, Kyoko Hata¹, Tateki Fujiwara¹

1. いであ株式会社

1. IDEA Consultants, Inc.

1980年代以降、瀬戸内海のイカナゴの漁獲量が減少していることが問題となっていた。

播磨灘では、海域のDINとイカナゴ漁獲量のデータがよく対応していることが知られており、陸域負荷とイカナゴ漁獲量の間に何らかの関係があることが考えられるが、その実態は明らかにされていない。

ここでは、栄養塩、動植物プランクトン（1～2つ目の栄養段階）、イカナゴ（プランクトン食性魚；3つ目の栄養段階）とその漁獲を表現した数値シミュレーションを用いて、イカナゴの漁獲量の再現を確保することで、陸域負荷からイカナゴの漁獲につながるまでの物質循環の実態解明を行った。

キーワード：生態系モデル、大阪湾、イカナゴ、プランクトン食性魚、負荷削減

Keywords: ecosystem model, Osaka-Bay, Ammodytes personatus, Plankton -eating fish, nutrient reduction

地球温暖化に伴う環境変動（水温・降水量の変化）が海底湧水を通じて沿岸域の水産生物に与える影響

Possible effects of the global warming on fish species diversity and production through submarine groundwater in coastal areas

*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

*Jun Shoji¹, Ryo Sugimoto², Hisami Honda³, Osamu Tominaga², Shiho Kobayashi⁴, Makoto Yamada³, Makoto Taniguchi³

1.広島大学大学、2.福井県立大学、3.総合地球環境学研究所、4.京都大学

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

陸水の流入は豊富な栄養を供給することを通じて、沿岸域の生物生産や生物多様性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。海底湧水は河川水に比べて栄養に富み、水温が年間を通じて比較的安定しているという特性を備える。本発表では、地球温暖化にともない想定されるいくつかのシナリオのもとで、環境変動（水温・降水量の変化）が、海底湧水を通して沿岸域における魚類群集に与える影響の評価を試みる。

2013～2015年の3月～7月の間に山形県遊佐町、福井県小浜市、広島県竹原市において野外調査を実施した。海水中におけるラドン濃度、水温、塩分の観測、魚類および餌料生物の採集、胃内容物解析、安定同位体比分析を実施した。優占魚種の一つであったマコガレイ稚魚を用いて、水温が成長、貧酸素耐性に与える影響を飼育実験により調査した。

海底湧水の噴出量が多いエリアで魚類の種多様性、生物量が多い傾向が複数の調査サイトで確認された。食物網解析により、一部の魚類が海底湧水を通じて陸域起源の栄養を利用していることが示唆された。マコガレイ稚魚の成長至適水温は18～21℃の前後と推定された。地球温暖化に伴い水温上昇、降水量が増えた場合の魚類群集への影響を考察した。

キーワード：海底湧水、魚類、分布、種多様性、生物量、食物網

Keywords: submarine groundwater, fish, distribution, species diversity, biomass, food web

駿河湾沿岸域における海底湧出地下水調査の総括

Summary of investigation for submarine groundwater discharge in Suruga Bay

*小野 昌彦¹、村中 康秀²、神谷 貴文²、大山 康一²、伊藤 彰²、丸井 敦尚¹*Masahiko Ono¹, Yasuhide Muranaka², Takafumi Kamitani², Koichi Oyama², Akira Ito², Atsunao Marui¹

1.産業技術総合研究所、2.静岡県環境衛生科学研究所

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

Submarine groundwater discharge (SGD) in coastal area has been recognized as an important pathway from land to ocean. Suruga Bay is adjacent to the foot of Mt. Fuji where active groundwater flow system exist, and it could be occurred that large amount of groundwater directly discharges into the bay.

To evaluate SGD and groundwater flow system in the coastal area of Suruga Bay, some geophysical and geochemical surveys have been conducted from 2013 to 2015. Side scan sonar and sub bottom profiler was used to detect an anomaly of sonic wave at the bottom of sea. Flow direction and velocity around the coast were observed by the Acoustic Doppler Current Profiler. Distribution of radon and salinity in surface water was investigated by towing survey. Bottom water of the bay was also collected by using the Niskin sampler and analyzed for radon. This study attempts to combine each survey result and summarize the investigation of submarine groundwater discharge in Suruga Bay.

キーワード：海底地下水湧出、駿河湾

Keywords: submarine groundwater discharge, Suruga Bay

水の安定同位体比から見たルソン島東方海域（黒潮源流域）の水塊構造の特徴

Spatial distribution of oxygen and hydrogen isotope ratios of seawater in the nascent Kuroshio of Lamon Bay

渡邊 敦¹、*宮島 利宏²、Villanoy Cesar³、San Diego-McGlone Maria Lourdes³、Gordon Arnold L.⁴Atsushi Watanabe¹, *Toshihiro Miyajima², Cesar Villanoy³, Maria Lourdes San-Diego McGlone³, Arnold L. Gordon⁴

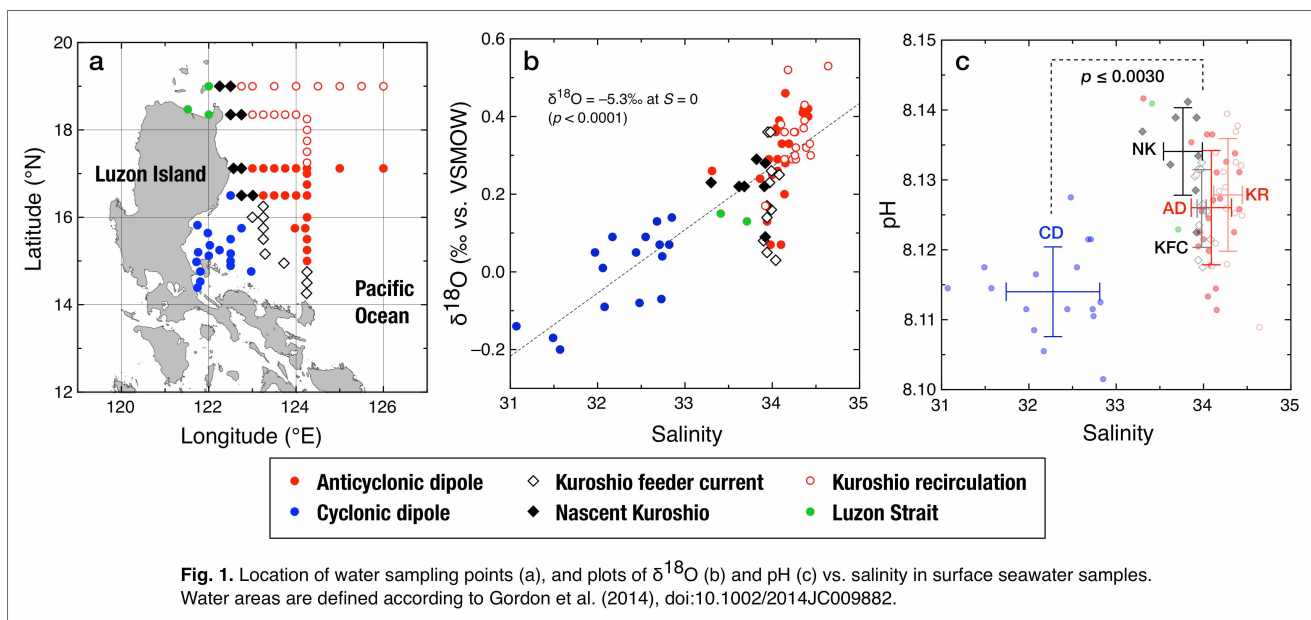
1.東京工業大学 環境・社会理工学院、2.東京大学 大気海洋研究所、3.Marine Science Institute, University of the Philippines、4.Lamont-Doherty Earth Observatory, Columbia University

1.School of Environment and Society, Tokyo Institute of Technology, 2.Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo, 3.Marine Science Institute, University of the Philippines, 4.Lamont-Doherty Earth Observatory, Columbia University

黒潮源流域に位置するフィリピン・ルソン島東岸のLamon湾とその外洋側海域（14°-19°N, 122°-126°E; Fig. 1a）において海水の酸素・水素安定同位体比（ $\delta^{18}\text{O}$ ・ $\delta^2\text{H}$ ）の鉛直分布と平面分布の観測を行った。観測は2012年4～5月に実施された調査船Roger Revelle号の航海において行われた。試料はガラスバイアルに密封して持ち帰り、CRDS式水同位体比分析計により $\delta^{18}\text{O}$ と $\delta^2\text{H}$ の測定を行った。鉛直分布では、表層から水深100～200 mに位置する回帰線水（NPTW）に由来する塩分極大に向けて $\delta^{18}\text{O}$ が上昇し、極大値1.5～2.0‰を示した。その後、水深500 m付近に位置する北太平洋中層水（NPIW）に由来する塩分極小に向けて $\delta^{18}\text{O}$ が低下し、塩分極小以深では4000 mまで-1～0‰の間のほぼ一定の値を示した。このように鉛直分布がほぼ海洋循環に基づく水塊構造に対応しているのに対し、表層水の $\delta^{18}\text{O}$ を見ると、陸域側（-0.3‰）から外洋側（+0.6‰）に向かって上昇する明瞭な勾配を示した。塩分との強い正の相関があり（ $p < 0.0001$; Fig. 1b）、表層水の平面分布が陸域からの淡水流入に強く支配されていることが示唆された。 $\delta^2\text{H}$ の鉛直・平面分布は $\delta^{18}\text{O}$ と同一のパターンを示したが、 $\delta^{18}\text{O}$ に対する $\delta^2\text{H}$ の相対変動を表すdeuterium excessを比較すると、陸域に近い表面水で微増する傾向が確認された。これはdeuterium excessの高い河川水の流入を反映したものと考えられる。Gordon et al. (2014)によって明らかにされたこの海域の海水流動パターンと比較すると、黒潮源流の流軸とルソン島とに挟まれた半定常的な低気圧渦の存在する海域において、表層水中の塩分と $\delta^{18}\text{O}$ が周辺海域より明瞭に低く、またpHが有意に低く、deuterium excessが有意に高くなっていた（ $p < 0.003$; Fig. 1c）。このことは、この海域において定常渦の存在により表層水の滞留時間が長くなるために淡水流入の影響が累積しやすいこととともに、黒潮の存在によって淡水の影響が及ぶ範囲が限定されていることをも示している。一方、黒潮はpHの低いこの海域の表層水を一部巻き込みながら形成されるにもかかわらず、黒潮源流部の表層pHは上流の海域に比べてわずかに高い傾向があった（8.134 vs. 8.126, $p = 0.0329$; Fig. 1c）。黒潮の形成過程において、表層水のpHを高く維持する何らかの生物地球化学的プロセスが作用している可能性がある。

キーワード：海水の酸素安定同位体比、鉛直構造、淡水流入、pH、ラモン湾

Keywords: oxygen isotope ratio of seawater, vertical structure, freshwater input, pH, Lamon Bay



夏季の大分県国東半島における河川水中の溶存無機態窒素・リンの動態

Dynamics of dissolved inorganic nitrogen and phosphorous of the river water in the Kunisaki Peninsula in summer

*理堀 隆人¹、杉本 亮¹、田村 勇司²、笠井 亮秀³、山下 洋⁴

*Takahito Rihei¹, Ryo Sugimoto¹, Yuji Tamura², Akihide Kasai³, Yoh Yamashita⁴

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水産研究部浅海・内水面グループ、3.北海道大学水産科学研究所、4.京都大学フィールド科学教育研究センター

1.Faculty of Marine Biosciences, Fukui Prefectural University, 2.Oita prefectural agriculture, forestry and fisheries research center, fisheries research division shallow/fresh group, 3.Graduate School of Fisheries Sciences, Hokkaido University, 4.Kyoto University Field Science Education and Research Center

2013年に世界農業遺産に認定された国東半島宇佐地域は、クヌギに代表される豊かな里山と小規模なため池を複数連結させた独特な水利用システムを持つ地域である。このような水利用システムは河川の水質形成だけでなく、河口・沿岸海域の生物生産過程にも大きな影響を及ぼしているものと考えられるが、その実態は明らかとなっていない。本研究では、国東半島の小河川群から沿岸海域へ輸送される栄養塩量を定量するとともに、河川ごとの違いを集水域の森・水利用の観点から評価した。

2015年7月末に計80地点で採水を行い溶存無機態窒素（DIN）、溶存無機態リン（DIP）および水の安定同位体比（ δD ・ $\delta^{18}O$ ）を分析するとともに最下流地点の河川流量を測定した。

DIN濃度は6.3から153.4 μM 、DIP濃度は0.1から4.1 μM 、 d 値（ $=\delta D-8\times\delta^{18}O$ ）は8.9から15.5の範囲で変動していた。DIN濃度・ d 値は渓流域で高く、流下にともないその濃度が減少したのに対し、DIP濃度は渓流域で低く、流下にともないその濃度が増加した。海域への栄養塩輸送量は、DINで0.8から140 $kg\ d^{-1}$ 、DIPで0.2から22 $kg\ d^{-1}$ であり、主に河川流量に支配されていた。しかし、DIN/DIPは6から39と河川ごとに大きく異なり、 d 値が高いとDIN/DIPが高く、 d 値が低いとDIN/DIPが低い傾向が認められた。これらの結果は、流域内でのDINとDIPの動態に国東半島特有の水利用が大きく関係していることを示唆する。DINは主に森林域から供給されており、流下に伴って増加するため池や水田等で消費されているものと考えられる。一方、DIPは、農地や建物用地、ため池数が増加することでその濃度が増加していた。 d 値が高い河川群は、森林からの豊富なDINが流下過程でさほど減少することなく海にまで達しているためDIN/DIPが高いのに対し、 d 値が低い河川群では水の滞留時間の増大に伴うDINの損失と農地などからDIP流出の結果が強く反映されDIN/DIPが低くなったと考えられた。

キーワード：栄養塩、渓流水、農地、森林、世界農業遺産

Keywords: Nutrients, stream water, agricultural land, forest, GIAHS

日本沿岸海域における海底湧水インパクトの異なる場所での一次生産速度の比較

A comparative study of in situ primary productivity under different sites of submarine groundwater discharge impacts in Japanese coasts

*杉本 亮¹、北川 勝博¹、西 沙織¹、本田 尚美²、山田 誠²、小林 志保³、小路 淳⁴、大沢 信二⁵、谷口 真人²、富永 修¹

*Ryo Sugimoto¹, Katsuhiro Kitagawa¹, Saori Nishi¹, Hisami Honda², Makoto Yamada², Shiho Kobayashi³, Jun Shoji⁴, Shinji Ohsawa⁵, Makoto Taniguchi², Osamu Tominaga¹

1.福井県立大学海洋生物資源学部、2.総合地球環境学研究所、3.京都大学フィールド科学教育研究センター、4.広島大学大学院生物圏科学研究科、5.京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設

1.Faculty of Marine Biosciences, Fukui Prefectural University, 2.Research Institute for Humanity and Nature, 3.Field Science Education and Research Center, Kyoto University, 4.Hiroshima University, 5.Institute for Geothermal Sciences, Kyoto 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, very little is known about an exact relationship between input of groundwater and response of primary production. To clarify the relationship, we conducted in situ measurements of primary productivity using stable ^{13}C tracer method under different strength sites of SGD in the Japanese coasts (Site A: Obama Bay, Site B: Beppu Bay and Site C: the coastal area of Mt. Chokai) in summer from 2013 to 2015. Simultaneously, ^{222}Rn activity was measured as SGD index. ^{222}Rn activity in Site A, B and C varied from 0.8 to 6.0 dpm L^{-1} , 3.6 to 11.2 dpm L^{-1} and 0.4 to 444.5 dpm L^{-1} , respectively. In situ primary productivity in Site A, B and C ranged from 7.0 to 49.5 $\mu\text{g C L}^{-1} \text{ h}^{-1}$, 10.7 to 38.4 $\mu\text{g C L}^{-1} \text{ h}^{-1}$ and 0.8 to 11.8 $\mu\text{g C L}^{-1} \text{ h}^{-1}$, respectively. In site A, there was significant relationship between in situ primary productivity and ^{222}Rn activity. Although light intensity and water temperature were different in each station and month, concentrations of nutrients limited primary productivity. In site B and C, concentrations of dissolved inorganic nitrogen and phosphorus showed significant increasing trends with an increase of ^{222}Rn activity, indicating nutrients in coastal regions were mainly derived from the SGD. However, there were no clear relationships between in situ primary productivity and ^{222}Rn activity, since primary production would be limited by light intensity as well as nutrients. Our experimental studies clearly showed that nutrients through the SGD affect crucial impact on primary production in coastal ecosystems.

キーワード：一次生産速度、ラドン222、海底湧水、沿岸海域

Keywords: Primary productivity, ^{222}Rn , Submarine groundwater discharge, Coastal seas

淀川潮間帯で発生する有毒植物プランクトンの数値生態系モデルによる解析

Analysis of harmful phytoplanktons in Yodo River mouth by the numerical ecosystem model

*林 美鶴¹*Mitsuru Hayashi¹

1.神戸大学自然科学系先端融合研究環内海域環境教育研究センター

1. Research Center for Inland Seas, Kobe University

Red tide of *Alexandrium tamarens* occurred in Yodo River estuary in Japan in 2007, 2011 and 2013. *A. tamarens* is marine phytoplankton and causes shellfish poisoning. We had made in-situ observation on April 2-3, 2012, and analyzed the temporal variation of marine phytoplankton by using the numerical ecosystem model. CTD and ADCP observation and water sampling were carried out with the tidal change. Nutrient and Chl.a concentrations and the cell density of *A. tamarens* were analyzed. Seawater ran to upstream in the surface layer. And fresh water went to the sea in the bottom layer. It is the typical estuary circulation. The estuary which have 2800m in length was divided to three layers, 0-0.5m, 0.5-1.5m and 1.5m-bottom. The thickness of the bottom layer is changed with the tidal change. Nutrient, phytoplankton, the dissolved organic matter and the particulate matter are in each layer, and the bio-chemical process, photosynthesis, mortality, decomposition and so on, were formulated. Diurnal migration, salt limitation and utilization of organic matter for the photosynthesis and mortality by low salinity were considered in the bio-chemical process of *A. tamarens*. Then the temporal variations of each morphology and *A. tamarens* were calculated. The variation of phytoplankton in each layer was almost reproduced in-situ data. Marine phytoplankton was not hardly produced in Yodo River estuary and was supplied from the ocean. Phytoplankton which cannot swim by oneself almost floated by the horizontal advection, it is the estuary circulation. But only 27% of *A. tamarens* transported from the ocean to the bottom layer go through upstream. 36% of it returned to the ocean in the middle and the surface layer, and other 36% died in the surface layer. Weak estuary circulation is effective to the transport limitation to the upper stream of *tamarens* in Yodo River estuary.

キーワード：淀川、有毒植物プランクトン、数値生態系モデル

Keywords: Yodo River , harmful phytoplanktons , numerical ecosystem model

大分県別府地域の沿岸域への温泉熱の流入が河口域周辺の魚類群衆に与える影響

The inflow of hot spring heat impact on fish communities around estuaries in Beppu, Oita prefecture

*山田 誠¹、小路 淳²、大沢 信二³、三島 壮智³、宇都宮 達也²、本田 尚美¹

*Makoto Yamada¹, Jun Shoji², Shinji Ohsawa³, Taketoshi Mishima³, Tatsuya Utsunomiya², Hisami Honda¹

1.総合地球環境学研究所、2.広島大学大学院生物圏科学研究科、3.京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設

1.Research Institute for Humanity and Nature, 2.Center for Field Science of the Seto Inland Sea, Hiroshima University, 3.Institute for Geothermal Sciences, Graduate School of Science, Kyoto University

Hot spring drainage flows into a river and then flow into the coastal area in Beppu, Oita prefecture which is a region with many hot springs in Japan. In Hirata River where many hot spring drainage flow into, hot spring drainage creates a better habitat for *Oreochromis niloticus* (Nile tilapia), a foreign species, in terms of available food and water temperature. Hot spring drainage flow into the river except Hirata River in Beppu area. However, it is not clear that the influence of hot spring drainage on ecosystem of those rivers. In order to evaluate the impact of thermal energy from hot spring drainage on the fish communities near the estuary, we investigated water temperature, flow rate and fish communities near the estuaries of six rivers in Beppu area. We sampled the fish using a small seine net in January 2015. Although the number of fish collected in four rivers was very small, Nile Tilapia and *Opsariichthys platypus* was collected in Hirata River and Haruki River, respectively. Hot spring drainage flow into these two rivers, however, there is a big difference in the water temperature near the river mouth in these two rivers. These results suggest the possibility that the difference in inflow of the hot spring heat affects the dominant species of the fish community near the estuary. In this presentation, we will discuss the inflow of hot spring heat impact on fish communities near the estuary with the result of the summer investigation.

キーワード：温泉熱、魚類群衆、河口域周辺、温泉排水

Keywords: hot spring heat, fish community, around estuary, hot spring drainage

異なる海底湧水環境で育てたアサリの成長比較

Comparative study of growth in Manila clam under different environmental conditions of submarine groundwater discharge

*富永 修¹、杉本 亮¹、北川 勝博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, Makoto Yamada², Jun Shoji³, Hisami Honda², Shiho Kobayashi⁴, Makoto Taniguchi²

1.福井県立大学海洋生物資源学部、2.総合地球環境学研究所、3.広島大学、4.京都大学フィールド教育センター

1.Faculty of Marine Biosciences, Fukui Prefectural University, 2.Research institute for Humanity and Nature, 3.Hiroshima University, 4.Kyoto 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. We investigated to what extent SGD contributed to the growth of primary consumer by the field rearing experiments of Manila clam at two sites (Mega and Torisaki) along the Mt. Chokai volcanic coast in northern Japan from June to August 2015. Average Radon 222 (^{222}Rn) concentration at surface layer of Mega and Torisaki for two months were 4037 Bqm^{-3} and 241 Bqm^{-3} , respectively. The $\delta^{13}\text{C}$ of shell of Manila clam ($\delta^{13}\text{C}_{\text{SHELL}}$) reflected the $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ of the ambient water, i.e. lower $\delta^{13}\text{C}_{\text{SHELL}}$ value at Mega than that at Torisaki. There was the positive correlation between ^{222}Rn activity and DIN concentration ($r=0.881$ $p<0.01$). Contrary to expectations, the average growth rate of Manila clam reared at Mega was slightly smaller than that at Torisaki. The concentration of chlorophyll-a was almost the same at two sites. However water temperature at Mega was about 2°C lower than Torisaki. Kobayashi and Toba (2005) reported that clear positive correlation between the growth rate of Manila clam and rearing water temperature. This suggested the negative effect of low temperature on the growth of Manila clam. This study showed the seepage area does not always have a favorable influence on fisheries resources. The larger-scale effects of SGD on biological production of primary consumer is necessary.

キーワード：海底湧水、アサリ、成長、炭素安定同位体比

Keywords: submarine groundwater discharge, Manila clam, growth, stable carbon isotope ratio