

森林流域の流出・浸食機構

Runoff and erosion processes in a forested river catchment

*知北 和久¹、築場 大将²、阪田 義隆³、ホサイン エムディ モタレブ¹

*Kazuhisa Chikita¹, Daisuke Yanaba², Yoshitaka Sakata³, Md Motaleb Hossain¹

1.北海道大学大学院理学研究院地球惑星科学部門、2.北海道大学理学部地球惑星科学科、3.北海道大学大学院工学研究院空間システム部門

1.Department of Earth and Planetary Sciences, Faculty of Science, Hokkaido University, 2.Department of Earth and Planetary Sciences, School of Science, Hokkaido University, 3.Department of Space System, Faculty of Engineering, Hokkaido University

森林域が流域面積の88.3%を占める北海道・生花苗川流域で、森林斜面に4CH土壌水分プロファイラー(10-40 cm深)とテンシオメーター(10-50 cm深)を設置し、降雨イベント時の降下浸透に伴う雨水の挙動特性とこれに伴う土壌浸食の可能性について検討した。観測期間は2015年5月~10月の無冠雪期間で、同時に生花苗川の流量・濁度・水温も連続測定しており、測定間隔は全観測項目で30分である。観測点土壌内の水収支を計算したところ、10月の降雨イベント(林内総雨量58.0 mm)時に40 cm深で飽和側方浸透流が発生し、一部ホートン型地表流の発生した可能性があることがわかった。この40 cm深には透水性の高いテフラ層(1667年樽前Ta-b層)、その下に透水性の低い泥層があり、飽和側方流は選択的にこの深度で卓越すると判断される。この流れによる浸食限界を調べると、砂・泥粒子が選択的に浸食される可能性が高いことがわかった。

キーワード：森林斜面、テフラ層、飽和側方流

Keywords: forest slope, tephra layer, saturated throughflow

流域内の土砂生産源の空間分布：山地から海岸への浮遊土砂の生産源推定

Spatial distribution in sediment yield within watershed: fingerprinting source of suspended sediment from mountain to coast

*水垣 滋¹、大塚 淳一¹、大橋 正臣¹、久保 まゆみ¹、谷瀬 敦¹、平井 康幸¹、五味 高志²

*Shigeru Mizugaki¹, Junichi Otsuka¹, Masami Ohashi¹, Mayumi Kubo¹, Atsushi Tanise¹, Yasuyuki Hirai¹, Takashi Gomi²

1.国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所、2.東京農工大学農学府国際環境農学専攻

1.Civil Engineering Research Institute for cold region, PWRI, 2.Tokyo University of Agriculture and Technology

Information of source and runoff process of suspended sediment is crucial for better sediment management at not only the watershed scale but also the "source to sink" system from mountain to coast. To understand the dynamics of water and suspended sediment at the watershed scale, we conducted the hydrological observation, fingerprinting source of suspended sediment using natural radionuclides as tracers, and GIS analysis in the Mukawa River (1270 km²) and the Saru River (1350 km²), Hokkaido, northern Japan. From the results of fingerprinting, dominant source areas discriminated by lithology could be found to be different among the suspended sediment, dam deposit and coastal sediment. Suspended sediment, composed of silt and clay size particles, was found to originate mainly from sedimentary rock and metamorphic rock, which are lying in the mid- to down-stream area within the watersheds. Meanwhile coastal sediment, composed of fine sand, was found to be originated from plutonic rock and melange matrix of accretionary complex, which are lying in the upstream area. Suspended sediment yield for 4 years (2011-2014) was also quantitatively evaluated by hydrological observation and fingerprinting technique, showing the positive correlation with landslide density along the stream side, but not with shallow landslide scars mainly occurred by the catastrophic typhoon event in August 2003. These results were supported by field survey and exposure weathering test, indicating that the lithology underlying the watershed was dominant factor controlling recent suspended sediment yield.

キーワード：浮遊土砂、地すべり、流域スケール

Keywords: suspended sediment, landslide, watershed scale

日本全国の土砂生産強度と砂浜の現状との関係

Relationship between sediment production and beach formation in Japan

*有働 恵子¹、武田 百合子¹、森田 興輝¹、横尾 善之²

*Keiko Udo¹, Yuriko Takeda¹, Kohki Morita¹, Yoshiyuki Yokoo²

1.東北大学災害科学国際研究所、2.福島大学共生システム学類

1.International Research Institute of Disaster Science, Tohoku University, 2.Faculty of Symbiotic Systems Science, Fukushima University

砂浜は荒天時に波のエネルギーを減衰する防災機能を有すると同時に、豊かな生態系を育み、人々のレクリエーションや憩いの場を提供するなどの環境・利用機能を持ち合わせた貴重な空間である。しかし、戦後、国土保全のための整備が急速に進められ、これに伴う流砂系の遮断により、全国各地で砂浜が急速に侵食された。本研究では、全国の土砂生産強度分布を海岸の沿岸区分別の流域にわけ、これと1950年頃から1990年頃にかけての沿岸区分別の砂浜幅の変化を比較することで、山地から河川、そして海岸までの土砂輸送に起因する土砂生産強度と砂浜幅変化との関係に関する現状分析を行う。

キーワード：降水強度、土砂輸送、砂浜侵食

Keywords: Precipitation intensity, Sediment transport, Beach erosion

山林小流域における高頻度水質モニタリングと河川水質モデルの最適化について

Water quality monitoring with high temporal resolution in a forested catchment and optimization of loading and solute concentration model

*田中丸 治哉¹、多田 明夫¹、渡辺 浩二²、山本 楓子¹

*Haruya Tanakamaru¹, Akio Tada¹, Koji Watanabe², Huko Yamamoto¹

1.神戸大学大学院農学研究科食料共生システム学専攻、2.八千代エンジニアリング（株）

1.Department of Agricultural Engineering and Socio-Economics, Graduate School of Agricultural Science, Kobe University, 2.Yachiyo Engineering Co., Ltd.

はじめに

河川の流出負荷量や水質濃度の推定・予測を目的として、河川水質モデルによる水質解析を行った研究事例は多数あるが、かなり精緻なモデルを用いている割には、水質変動の再現性が不十分なものがしばしば見られる。その原因として、水質データの観測頻度が少ないこと、その一方で未知パラメータの数が多くそれらの決定が難しいことが考えられる。さらに、モデルの不完全さから水量・水質の再現性が両立しないことも少なくない。本報告では、山林小流域における長期間・高頻度の水質モニタリングについて紹介した後、その流域にシンプルな河川水質モデルを適用し、水量・水質の再現性を両立させるパラメータ決定手法について検討した結果を示す。

対象流域と水文水質観測

対象流域は、奈良県五條市の山林小流域（12.14ha）で、流域末端に直角三角堰、水位計、雨量計が設置されている。この流域では、これまでFIPオンサイト水質観測システムによるカリウム、ナトリウム、塩化物イオン濃度の長期間・高頻度モニタリングを実施してきた（Tada et al., 2006）。このシステムは、送液にフローインジェクション分析法を、検出部に電気化学分析法（ポテンシオメトリー）を採用したもので、3種の溶存イオン濃度を15分間隔で2週間モニタリングできる。この方法によって観測された濃度はバッチ試験による濃度と合致することが確認されている。本研究では、降水量・流量データには2007年5月～2011年4月の10分単位データを、蒸発散データには五條の気象データに基づきペンマン式で推定した日蒸発散能を用いた。水質データにはナトリウムイオン濃度を用い、先のシステムによる観測データを線形補間によって10分単位に変換したものを解析に用いた。ただし、水質データの観測期間は、2009年6月～2011年4月の2年弱で比較的短いことから、河川水質モデルの適用に際しては、データ期間を同定期間と検証期間に分けず、全期間をパラメータ同定に用いた。

河川水質モデルとパラメータ同定法

河川水質モデルには、長短期流出両用モデル（LST-II, 角屋・永井, 1988）にべき乗型のLQ式もしくはCQ式を組み合わせたものを用いる。LST-IIは3段4層のタンクから成る貯留型の概念的流出モデルで、第1段タンク上層からの流出は表面流出と速い中間流出を、同タンク下層からの流出は遅い中間流出を、第2段タンクと第3段タンクからの流出は地下水流出を表している。そこで、流出負荷量を推定する際には、これら4流出成分にLQ式を、濃度を推定する際には4流出成分にCQ式を当てはめた。このモデルにおいて決定すべきパラメータの個数は、LST-IIが初期水深を含めて14個、LQ式（もしくはCQ式）が8個（2個×4成分）で、合計22個である。これらのパラメータは、大域的探索法の一つであるSCE-UA法を用いて、河川流量及び流出負荷量（濃度）の再現誤差が小さくなるように決定するが、誤差評価関数には河川流量、流出負荷量（濃度）ともに最小二乗誤差平方根（RMSE）を用いた。パラメータ同定には、多目的最適化手法の一つである妥協計画法を適用する（田中丸・藤原, 2006）。流出負荷量推定の場合を例にとると、同法は次の①～③の手順から成る。①流量の再現誤差を最小化してLST-IIのパラメータ14個を決定後、その計算流量に基づいて得られる負荷量の再現誤差を最小化してLQ式のパラメータ8個を同定する。②負荷量の再現誤差を最小化して全パラメータ22個を同定する。③流量の再現誤差を横軸に、負荷量の再現誤差を縦軸に取った目的関数平面を対象として、①と②の結果からプロットされる理想点との距離が最小になる点（妥協解）を探索する。

適用結果

先に述べたパラメータ決定手順において、手順①で得たモデルは、河川流量の再現性を最重視したモデル、手

順②で得たモデルは、流出負荷量の再現性を最重視したモデル、手順③で得たモデルは、河川流量と流出負荷量の再現性を両立させたモデルと位置づけられる。各モデルの再現誤差 (RMSE) を比較したところ、モデル①は流量の再現性は最良だが負荷量の再現性が最悪、モデル②は流量の再現性は最悪だが負荷量の再現性は最良となった。一方、モデル③では、流量の再現性は最良ではないがモデル①の再現性に近く、負荷量の再現性も最良ではないがモデル②の再現性に近かったことから、河川流量、流出負荷量ともに最良に近いモデル③は、総合的に見れば最も優れたモデルであると判断された。濃度推定モデルの最適化におけるモデル①～③の比較においても同様の結果を得た。こうして得られたモデルについて、河川流量、流出負荷量、濃度の時系列の再現性を確認したところ、低水時、高水時ともに概ね良好な再現結果を得た。

キーワード：水質モニタリング、フローインジェクションポテンシオメトリー、河川水質モデル、長短期流出
両用モデル、多目的最適化、妥協計画法

Keywords: water quality monitoring, flow injection potentiometry, loading and solute concentration model, Long- and Short-Term Runoff Model, multi-objective optimization, compromise programming

脱窒過程における亜硝酸還元酵素遺伝子 *nirS* の変動特性Variation of nitrite reductase gene *nirS* in denitrification process*安元 純¹、高田 遼吾¹、廣瀬 美奈²、細野 高啓³、松永 緑³*Jun Yasumoto¹, Ryogo Takada¹, Mina Yasumoto Hirose², Takahiro Hosono³, Midori Matsunaga³

1.琉球大学 農学部 地域農業工学科、2.一般社団法人 トロピカルテクノプラス、3.熊本大学大学院先端機構

1.University of the Ryukyus, Faculty of Agriculture, 2.Tropical Technology Plus., 3.Priority Organization for Innovation and Excellence, Kumamoto University

近年、分子生物学的手法を用いた遺伝子解析技術が、環境中に存在する微生物相解析に応用されている。これまで帯水層における脱窒の指標とされていた、地下水中の無機態窒素、全有機炭素 (TOC)、無機炭素 (IC) 及び硝酸中の窒素及び酸素安定同位体比 ($\delta^{15}\text{N}_{\text{NO}_3^-}$ ・ $\delta^{18}\text{O}_{\text{NO}_3^-}$) 等に加え、遺伝子解析等により脱窒に関わる微生物量を直接確かめることが出来れば、脱窒による窒素除去量を推定する有益な情報となる。

本研究では、リアルタイムPCRを用いた脱窒関連遺伝子である亜硝酸還元酵素遺伝子 (*nirS*) の定量分析を、脱窒過程の初期から終了時にかけて実施し、脱窒過程における*nirS*のDNAコピー数の変動特性を把握することを目的とした。

研究方法は、土壌及び琉球石灰岩を充填したカラムに、沖縄本島南部地域で採取した湧水を通水し、排水中の*nirS*遺伝子のDNAコピー数及び水質項目を分析した。実験に使用したカラムは、高さ70cm、内径7cmのアクリル製で、下部に2.6mmふるいを通過した琉球石灰岩を約31cm、間隙率0.54で充填し、上部に沖縄本島南部の圃場で採取した土壌を、約33cm、間隙率0.53で充填した。分析項目は、*nirS*のDNAコピー数、無機態窒素を含む主要陽・陰イオン、TOC、IC、 $\delta^{15}\text{N}_{\text{NO}_3^-}$ 、 $\delta^{18}\text{O}_{\text{NO}_3^-}$ を選出した。また、カラム内の項目として、水温、流量に加え、酸化還元電位 (ORP) を7cm毎に計9点で測定した。

カラム実験の結果、琉球石灰岩を充填したカラム中において、実験後も酸化的環境が維持されていた一方で、土壌を充填したカラム中ではORPが-222mVまで減少し、還元的環境の形成が確認された。実験開始後、硝酸性窒素 (NO_3^- -N) 濃度は徐々に減少し、221時間経過後から検出限界以下となった。脱窒の電子供与体となるTOCは、カラム通過前後で3-5倍程度増加しており、流速の減少に伴い増加する傾向がみられた。一方、脱窒の副産物であるICは、 NO_3^- -N濃度の減少やTOCの増加に伴い増加する傾向がみられた。以上より、カラムの土壌充填部分で脱窒が生じたと推測される。

NO_3^- -N濃度の減少と共に*nirS*のDNAコピー数には上昇がみられ、 NO_3^- -N濃度が検出されなくなったおよそ120時間後に*nirS*のDNAコピー数は最大値 2.89×10^6 (copies/mL of sample) となり、その後も高い値を示した。また、*nirS*のDNAコピー数は気温の変化により水温が約3°C減少した際には検出限界付近まで低下した。 $\delta^{15}\text{N}_{\text{NO}_3^-}$ ・ $\delta^{18}\text{O}_{\text{NO}_3^-}$ の値は NO_3^- -Nの減少と共に上昇し、*nirS*のDNAコピー数が検出限界になった水温低下時にも高い値を維持しており、 NO_3^- -Nが完全に無くなると測定不能となった。以上より、脱窒過程における*nirS*の変動特性の把握ができた。また、*nirS*と $\delta^{15}\text{N}_{\text{NO}_3^-}$ ・ $\delta^{18}\text{O}_{\text{NO}_3^-}$ との脱窒の指標としての違いが明らかとなった。

キーワード：脱窒、亜硝酸還元酵素遺伝子 (*nirS*)、リアルタイムPCRKeywords: Denitrification, Nitrite reducing genes (*nirS*), Real Time-PCR

河川水および地下水中のクロロフルオロカーボン類を用いた盆地の地下水硝酸態窒素汚染源のトレースのためのフィジビリティスタディ

Feasibility Study for Tracing of Source Area of the Groundwater $\text{NO}_3\text{-N}$ Pollution in Basin Using CFCs of River Water and Groundwater

*中屋 眞司¹、青山 里輝²

*Shinji Nakaya¹, Riki Aoyama²

1.信州大学工学部水環境・土木工学科、2.信州大学工学部土木工学科

1.Department of Water Environment and Civil Engineering, Faculty of Engineering, Shinshu University, 2.Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Shinshu University

Chlorofluorocarbons CFC-12, CFC-11, CFC-113, which are primarily of anthropogenic origin, are often used to young groundwater dating. However, CFCs concentrations are extremely over record (EOR) in 40 % in sampling points of the well waters in Matsumoto basin as well as in other agricultural basin. The concentration of CFCs in EOR is also likely to increase with $\text{NO}_3\text{-N}$. Supposing CFCs with $\text{NO}_3\text{-N}$ enrich along groundwater flow path, the source area of $\text{NO}_3\text{-N}$ pollution can be identified by tracing the relationship between CFCs, $\text{NO}_3\text{-N}$ and the location. In order to identify the source of $\text{NO}_3\text{-N}$ in agricultural basin, we carried out feasibility study using CFCs. We measured the CFCs and SF_6 concentrations of river water at 19 points of three rivers, groundwater at 21 wells and air at 19 points along rivers in the Matsumoto basin. The CFCs' concentrations of river waters exponentially increase with distance and elapsed time in the direction from upstream to downstream up to air values of CFCs' concentrations, being close to average atmospheric CFCs' concentrations of north hemisphere. It is natural that the gradual increases of CFCs concentrations in rivers with distance and elapsed time reflects the process of gaining equilibrium between water and air. Moreover, CFCs' concentrations of river water at beginning point of mountain stream will correspond to the CFCs of spring, in our understanding. The $\text{NO}_3\text{-N}$ of river waters decreases with distance and elapsed time in the direction from upstream, surrounding vegetable fields, to downstream, indicating dilution due to river water. On the contrary, the CFCs' concentrations of groundwater increase with $\text{NO}_3\text{-N}$ from upstream, surrounding vegetable fields, to downstream along groundwater flow path, suggests CFCs with $\text{NO}_3\text{-N}$ enrich in the groundwater. The relationship between CFCs and $\text{NO}_3\text{-N}$ of river water and groundwater along groundwater flow paths is plotted around a same line, indicating that the source area of $\text{NO}_3\text{-N}$ pollution of groundwater is identified to be vegetable fields.

キーワード：地下水、クロロフルオロカーボン類、硝酸、地下水汚染

Keywords: groundwater, Chlorofluorocarbons, nitric acid, groundwater pollution

大都市沿岸部における下水道由来の窒素動態

Dynamics of sewage-derived nitrogen in the coastal area of a mega city

*齋藤 光代¹、小野寺 真一²、金 広哲²、谷口 正伸³、清水 裕太⁴

*Mitsuyo Saito¹, Shin-ichi Onodera², Guangzhe Jin², Masanobu Taniguhchi³, Yuta Shimizu⁴

1.岡山大学大学院環境生命科学研究科、2.広島大学大学院総合科学研究科、3.和歌山大学、4.日本学術振興会特別研究員PD、近畿中国四国農業研究センター

1.Graduate School of Environmental and Life Science, Okayama University, 2.Graduate School of Integrated Arts and Sciences, Hiroshima University, 3.Wakayama University, 4.JSPS PD, NARO/WARC

人口の急増する大都市域では、生活排水の増加にともなう水質汚濁が初期に直面する環境問題の一つであり、例えば大阪大都市圏でも1970年代以前は大きな問題であったが、流域下水道の整備にともない改善されてきた。その一方で、近年では下水管の劣化による地下水の流入や、降雨時の雨水の大量流入にともなう下水道由来の沿岸域への物質負荷が問題視されている。しかしながら、下水道由来の物質負荷が沿岸域に及ぼす影響は、これまで十分に定量化されてきたとはいえない。

そこで本研究では、早くから下水道が発達してきた大阪の沿岸域を対象に、下水道由来の窒素動態について明らかにすることを目的とする。

流域の土地利用変化が河川水中の硝酸の起源に与える影響について

Accurate and precise quantification of atmospheric nitrate in streams draining land of various uses by using triple oxygen isotopes as tracers

*角皆 潤¹、宮内 貴規¹、大山 拓也¹、小松 大祐¹、中川 書子¹、小幡 祐介^{1,2}

*Urumu Tsunogai¹, Takanori Miyauchi¹, Takuya Ohyama¹, Daisuke D. Komatsu¹, Fumiko Nakagawa¹, Yusuke Obata^{1,2}

1.名古屋大学大学院環境学研究科、2.三重大学生物資源学部

1.Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, 2.Faculty of Bioresources, Mie University

硝酸(NO_3^-)は、生態系の根幹となる一次生産(光合成)に必須の栄養塩の1つであり、水環境中の一次生産の制限元素となることも多く、その増減は、生態系に対して非常に大きな影響を及ぼす。特に河川水中の硝酸濃度は、系内はもちろん、下流に位置する湖沼やダム、沿岸海域の一次生産や生態系構造を直接的に左右する可能性があるため、各河川水中の硝酸濃度が、流域(集水域)内のどのような過程で制御されているのか、知見を深めておく必要がある。しかし、大気からの沈着や、硝化による生成、同化や脱窒による除去など、多様な供給・除去過程を考慮せねばならず、硝酸濃度の制御過程を理解するのは容易では無い。さらに農地や都市域等を流域に持つ場合は、人為的な影響も大きい。

近年になって、河川水などの一般水環境中の硝酸の窒素・酸素安定同位体組成($\delta^{15}\text{N}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ 、 $\Delta^{17}\text{O}$)の高感度分析法が確立し、硝酸の起源が高確度・高精度で推定できるようになった。特に同化や脱窒過程で値が変化しない三酸素同位体異常($\Delta^{17}\text{O} = \delta^{17}\text{O} - 0.52 \cdot \delta^{18}\text{O}$)は有用で、各河川水中の硝酸についてこれを定量化することで、大気沈着由来の硝酸(大気硝酸)と、硝化によって生成する硝酸(再生硝酸)の混合比を、正確に定量化できるようになった。さらに定量化した大気硝酸の混合比をもとに、それが窒素や酸素の安定同位体組成($\delta^{15}\text{N}$ および $\delta^{18}\text{O}$)に与えた影響を差し引くことが出来るので、そこから再生硝酸の起源を高精度で議論することも出来るようになった。

そこで本研究では、①流域の土地利用の変化が河川水中の大気硝酸の混合比や絶対濃度に与える影響を定量的に評価する、②流域の土地利用の変化が河川水中の再生硝酸の同位体組成や起源(一般的な有機体窒素の硝化か、それとも人為起源か)に与える影響を定量的に評価する、の二点を主目的に、琵琶湖の流入河川

($n=33$)と流出河川($n=1$)について、その濃度と窒素・酸素安定同位体組成($\delta^{15}\text{N}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ 、 $\Delta^{17}\text{O}$)を、季節変化を含めて1年間に渡って調べた。琵琶湖は南部を中心に都市化が進行する一方で、東部は農地(水田)が広がり、さらに北部は森林が広がるなど、流入河川の流域環境は河川間で大きく変化するため、流域の土地利用の変化が与える影響を評価するのに都合が良い。同様の試みは、同じ場所で過去にも実施されているが(Ohte et al., 2010)、今回は三酸素同位体異常を新規に測定項目に加えることで、定量結果の高精度化の実現を目指した。

流域の栄養循環を駆動する河床微生物群集の生態系機能評価

Landscape stoichiometry and biological nutrient recycling in the watershed ecosystem

*奥田 昇¹、岩田 智也²、林 拓矢³、村上 綾⁴、陀安 一郎¹、石川 尚人⁵、岡野 淳一⁴、富樫 博幸⁶、中野 伸一⁴、酒井 陽一郎⁷、Uhran Song⁸、尾坂 兼一⁹、Cid Abigail¹⁰

*Noboru Okuda¹, Tomoya Iwata², Takuya Hayashi³, Aya Murakami⁴, Ichiro Tayasu¹, Naoto Ishikawa⁵, Jun-ichi Okano⁴, Hiroyuki Togashi⁶, Shin-ichi Nakano⁴, Yoichiro Sakai⁷, Uhran Song⁸, Ken-ichi Osaka⁹, Abigail P Cid¹⁰

1.総合地球環境学研究所、2.山梨大・院総合研究、3.山梨大・工、4.京大・生態研、5.海洋研究開発機構、6.水研センター・東北区、7.琵琶湖研センター、8.済州大・自然科学、9.滋賀県大・環境科学、10.大阪大学・国際交流

1.Research Institute for Humanity and Nature, 2.Fac Life & Env Sci, Univ Yamanashi, 3.Fac Engineer, Univ Yamanashi, 4.CER, Kyoto Univ, 5.JAMSTEC, 6.Tohoku Nat Fish Res Inst, 7.LBERI, 8.College Appl Life Sci, Jeju Nat Univ, 9.School Env Sci, Univ Shiga Pref, 10.Osaka Univ

1. はじめに

リンは生物に利用可能な形態での存在量が希少であるため、流域生態系の物質循環を支配する律速因子となりうる。この生態化学量論的特性により、集水域の人間活動に伴って排出されるリンは、富栄養化や生物多様性低下など深刻な環境問題をしばしば引き起こす。本研究は、河川生態系において「栄養バランスの不均衡」をもたらす流域圏の人間活動を特定するとともに、河床微生物群集に及ぼす影響を評価することを目的とした。さらに、河川生態系のリン循環パターンを流域スケールで可視化する栄養螺旋モデルを用いて、礫付着藻類群集により駆動されるリン循環機能の評価を試みた。

2. 材料と方法

琵琶湖水系最大流域面積を誇る野洲川集水域を調査対象として土地利用形態の異なる1次から5次河川に59観測定点を設置し、全リン・全窒素濃度、流量、水深、川幅、流速、水温、日平均光合成有効放射を計測した。空間参照型回帰モデルSPARROW (Smith et al. 1997) を改良した栄養螺旋モデルにこれらの観測データおよび標高、河川次数、各種土地利用データを組み込むことによって、流域生態系全体のリン原子のスパイラルメトリクス (U : 取込み速度、 v_f : 鉛直移動速度、 S_w : 平均流下距離) を推定した。

さらに、上記観測定点の内、30地点において、河床礫付着藻類を定量採集し、クロロフィルa、b、cの濃度を測定した。クロロフィルa、b、cは、それぞれ藻類群集全体、緑藻類、珪藻類のバイオマスの指標として用いた。藻類群集が河川生態系のリン循環機能に及ぼす影響を評価するために、リンのスパイラルメトリクスを目的変数、各種藻類バイオマスおよびそれらに基づいた多様性指数を説明変数とした回帰分析を行った。

3. 結果

野洲川の河川水全リン濃度は、市街地や農地の土地利用割合が高い集水域で高い値を示した。栄養螺旋モデルに基づいて、市街地と農地からの面源リン負荷量 ($\text{mol}/\text{km}^2 \cdot \text{day}$) は、それぞれ1.34と0.26と推定された。リン負荷による栄養バランス (全窒素/全リン濃度) の不均衡は、藻類群集組成に影響を及ぼし、とりわけ、緑藻バイオマスを規定する有意な環境要因とみなされた。

リンの取り込み速度 U は、森林河川で低く、市街地・農地河川で高かった。また、栄養塩除去効率の指標となる v_f も市街地・農地河川で高い値を示した。一方、リンの栄養螺旋長 (リン1分子が代謝回転するのに要する平均流下距離) と定義される S_w は、下流河川ほど長くなり、河川本流の下流域に負荷されたリンの多くは生物に取り込まれることなく琵琶湖に流入することが明らかとなった。他方、流域末端の小河川では、栄養螺旋長が相対的に短く、リン循環機能が高いと結論された。リンの取り込み速度は、緑藻バイオマスと高い相関を示し、河床微生物によってリン循環が促進されていることが示唆された。

4. 考察

野洲川流域では、市街地や農地から排出されるリンが河川生態系の栄養バランスの不均衡をもたらす駆動因となりうる結論づけられた。緑藻類は、リンへの応答性が高く、流域の土地利用改変による栄養バランスの不均衡が藻類群集組成やバイオマスの空間変異をもたらすと推察された。本研究により、集水域の人間活動が河

床微生物群集の改変を介して、河川生態系の栄養循環機能に影響を及ぼすメカニズムを因果論的に解明することができた。

5. 参考文献

Smith RA, Schwarz GE & RB Alexander (1997) Regional interpretation of water-quality monitoring data. *Water Resources Research*.33:2781-2798

キーワード：栄養循環、栄養不均衡、栄養螺旋モデル、生態系機能、リン負荷、礫付着藻類

Keywords: Nutrient cycling, Nutrient imbalance, Nutrient spiral metrics, Ecosystem function, Phosphorous loading, Epilithic algae

Fig. 1

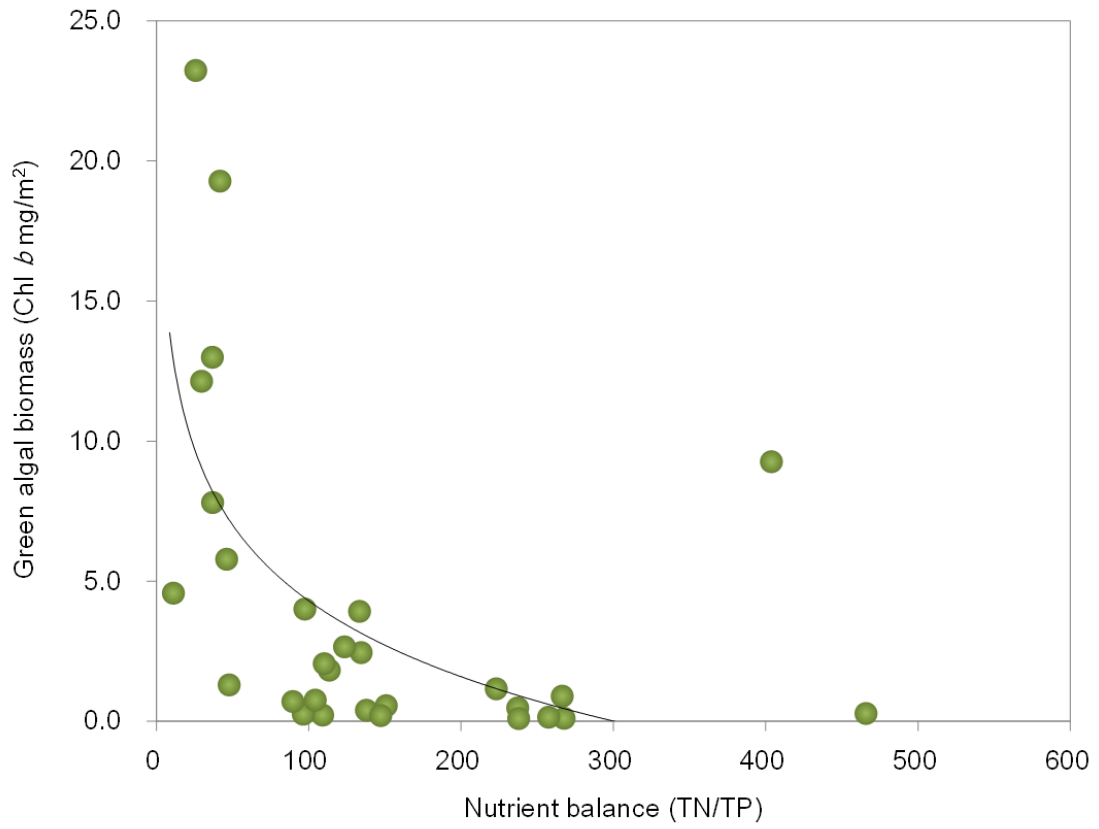
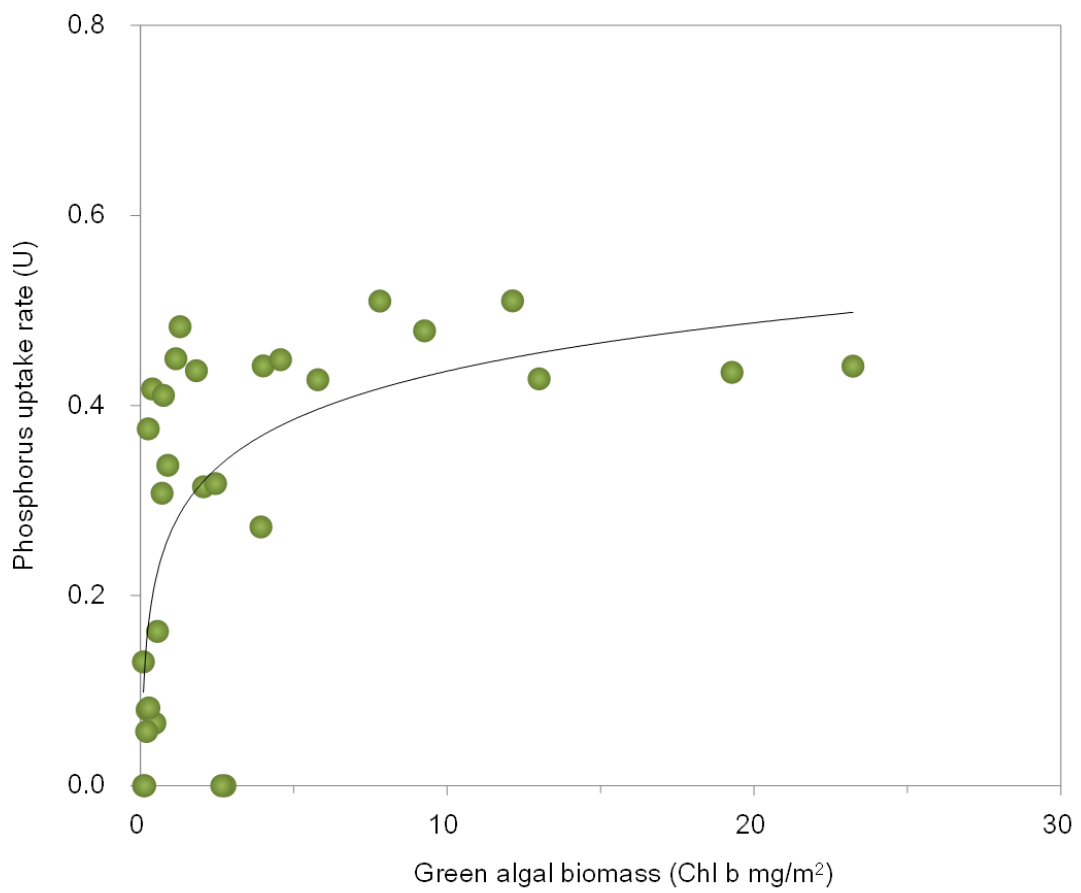


Fig. 2



琵琶湖北湖表水層における栄養塩制限下での植物プランクトンの生理的応答

Physiological responses in phytoplankton under nutrient-limited epilimnion in north basin of Lake Biwa

*伴 修平¹、伊吹 梨沙¹*Syuhei Ban¹, Risa Ibuki¹

1. 公立大学法人 滋賀県立大学

1. The University of Shiga Prefecture

植物プランクトンは栄養塩制限下において、細胞内に貯蔵された細胞内栄養塩、あるいは植食者からの再生栄養塩を利用することが知られている。琵琶湖北湖は、ほぼ周年に渡ってリン不足環境であり、特に成層期には植物プランクトンの生産はリン制限となることが分かっている。本研究では、このリン制限環境に対する植物プランクトンの生理的応答を、希釈培養法と栄養塩添加実験の併用によって明らかにした。

方法

観測および実験は、2013年6月14日～12月4日の期間に計5回、琵琶湖北湖St. 3 (水深60 m、35°18.54'N, 136°09.58'E) にて行った。実験用試水は5 mからシンドラートラップにて採取し、200- μ mの篩で中型以上の動物プランクトンを除いた後に実験に用いた。これとは別に、chl. *a*量、栄養塩濃度およびセストンC, N, P量測定用の試水を0～50 mの8層から採取した。採水と同時に、クロロテック (JEF Alec, ACL220-DK) にて水温および光量子量の鉛直プロファイルを得た。実験用に採取した湖水の一部は、カプセルフィルター (孔径0.45 μ m) でろ過し、未処理湖水と混合することで5段階の希釈湖水を作成した。これら実験試水は、NH₄Cl (最終濃度、20 μ M) を添加した+N区、KH₂PO₄ (最終濃度、2 μ M) を添加した+P区、両方を添加した+NP区に分け、実験室にて現場水温と光量子量にて48時間振とう培養した。培養前後のchl. *a*量 (chl₀とchl_t) から見かけの増殖速度(μ_{net})を算出した。

$$\mu_{net} = \ln(chl_t/chl_0)/48$$

+NP区の μ_{net} より、以下の式にて微小動物プランクトンによる摂食速度係数(*g*)を求めた。

$$\mu_{net} = \mu_{mean} - g \times x$$

ここで、 μ_{mean} はそれぞれの希釈段階における微小動物プランクトンによる摂食効果を除いた植物プランクトンの潜在的な増殖速度、*x*は湖水の希釈率である。即ち、*x* = 0がろ過湖水のみであり、*x* = 1が湖水のみである。次に、求めた*g*を用いて+N区および+P区における μ_{mean} を求めた。植物プランクトンが3つの栄養塩供給源を用いていると仮定すると、 μ_{mean} は次式で表すことができる。

$$\mu_{mean}(x) = \ln(1 + Kr \cdot x + Ki + Ke/x)/48$$

ここで、*Kr*は再生栄養塩、*Ki*は細胞内貯蔵栄養塩、*Ke*は細胞外溶存栄養塩によるそれぞれの増殖速度係数を示す。 μ_{mean} について、ステップワイズの重回帰分析を行い、モデル式のそれぞれの増殖速度係数を求めた。

結果と考察

水柱は、6～9月には強い成層構造を示し、10月以降はこれが崩れ、混合層が深くなった。NO₃-Nは7～9月に5 m以浅で枯渇するものの、10月以降には下層からの回帰が認められた。一方、PO₄-Pは表水層ではいずれの実験日においてもほぼ枯渇していた。セストンC:P比とN:P比の季節変化は、6～7月には5 mでリン欠傾向だった植物プランクトンが、9月以降は回復したことを暗示した。

一方、希釈培養・栄養塩添加実験では、琵琶湖の植物プランクトンが実験期間を通してリン制限下にあったことを示した。重回帰分析の結果は、6～9月には、植物プランクトンが細胞内貯蔵および再生リンを使って増殖し、10～12月には細胞内貯蔵リンのみを用いて増殖したことを示した。一方、窒素についても、6～9月には再生窒素を使っていたが、その割合はリンのそれより低かった。そして9月には溶存態窒素も使い、10～12月には細胞内貯蔵窒素のみを使って増殖した。

これらのことは、リン制限下において、植食者である微小動物プランクトンが再生リンの供給を通して、植物プランクトンの増殖に寄与していたことを示唆した。10～12月には植物プランクトンはリンも窒素も細胞内栄養塩のみを使って増殖した。10月以降は、混合層深度の増加に伴って下層より栄養塩が回帰したことから、植物プランクトンは細胞外から供給された栄養塩を一旦細胞内に貯蔵した後、これを増殖に利用したと考えられ

る。

キーワード：リン制限、植物プランクトン生産、再生栄養塩、微小動物プランクトン摂食、琵琶湖

Keywords: phosphorus limitation, phytoplankton production, recycling nutrients, micro-zooplankton grazing, Lake Biwa

琵琶湖北湖における極微量正リン酸の選択的定量

Chromatographic determination of trace orthophosphate in water of North basin of Lake Biwa

*丸尾 雅啓¹、宮下 治希¹、石丸 真菜¹、小畑 元²*Masahiro Maruo¹, Haruki Miyashita¹, Mana Ishimaru¹, Hajime Obata²

1.滋賀県立大学環境科学部環境生態学科、2.東京大学大気海洋研究所

1.Department of Ecosystem Studies, School of Environmental Science, The University of Shiga Prefecture, 2.Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo

Introduction: Phosphorus is essential nutrient for primary production in waters and often acts as limiting factor in many lakes in Japan. Orthophosphate is thought to be the main chemical form of phosphorous directly available to organisms in water. For the determination of soluble reactive phosphorous (SRP) in water, spectrophotometry of reduced form of phosphomolybdate is widely used. However, there are some problems concerning interference of other oxoanions (arsenate (As(V)), and silicate) forming similar molybdenum blue complexes. Moreover, other phosphorus compounds such as polyphosphates and organic phosphates in natural water are hydrolyzed during the analytical process and release orthophosphate, which causes overestimation of orthophosphate in water. Although detection limit of this method can be improved at some tens of nmol/L to 1 nmol/L levels by using liquid waveguide capillary cell (LWCC) [1], the problems on interference of various compounds and CDOMs (especially in humic waters) were not solved [2].

Ion chromatographic determination has advantage to separate orthophosphate from other interfering compounds in natural waters. As detection limit of the method was not so enough in conventional analytical condition, we investigated both decrease in background conductivity and increase in injection volume to enhance detection limit below 1 nmol/L [3]. This method was applied to measure orthophosphate in waters of phosphorous limiting freshwater lake (Lake Biwa, Japan: mesotrophic). Obtained results of orthophosphate concentration was compared with those obtained by conventional molybdenum blue method (SRP).

Materials and Methods: Lake waters were sampled from April to October in 2015 at the north basin of Lake Biwa (35° 22' N, 135° 06' E, max. depth 90m). Waters were collected by X-Niskin sampler (Teflon coated, 5L) on the research ship Hassaka (The Univ. of Shiga Pref.). Samples were filtered with Acropak-200 capsule filter (0.8/0.2 micro meter pore size) onboard and stored in a cool dark container below 10 degree in Celsius. Orthophosphate concentration was measured by suppressed ion chromatography. Dionex AS-23A analytical column (250mm in length) was applied with electrochemical suppressor in electric suppression mode (external mode: supplying pure water as regenerant of suppressor membrane). Injection of high volume sample (5 mL) enhanced detection limit of orthophosphate to 1 nmol/L or less (blank peak height < 0.2 nmol/L). SRP was measured according to the method JIS K0102 using ascorbic acid as reducing reagent. Micro glass cells of 50 mm path length (approximate volume: 3 mL), or LWCC (light path length 1000 mm) was used.

Results and discussion: Determined value of orthophosphate dynamically varied from 0.8 to 466 nmol/L. Eplimnetic water usually showed very low orthophosphate concentration in the range 0.8 to 8.8 nmol/l (0 to 40 m in sampling depth). From 50 m or 60 m to the bottom, orthophosphate concentration steeply increased regardless of the sampling dates.

SRP values were only obtained in the samples having concentrations higher than 68 nmol/L because of low sensitivity by 50mm cell. LWCC was also applied for SRP determination but enough performance was not obtained because of high blank absorption probably caused by contamination of reagents by phosphate impurity. By comparing the concentrations of SRP in hypolimnetic waters with those of orthophosphate by this ion chromatographic method, we found that orthophosphate content increased

with the depth and almost matched with SRP values in the depth close to the lake bottom. This trend became more prominent according to the succession of the season from spring to autumn.

References: [1] Anagnostou & Sherrell (2008) *Limnol. Oceanogr Methods* 6, 64-74. [2] Zimmer & Cutter (2012) *Limnol. Oceanogr Methods* 10, 568-580. [3] Maruo, Ishimaru, Obata et al (2016) *Limnology* 17, 7-12.

キーワード：微量リン酸、イオンクロマトグラフィー、琵琶湖

Keywords: Trace orthophosphate, Chromatography, Lake Biwa

琵琶湖における地下水湧出の分布と栄養塩流出に及ぼす影響 -現状と課題-

Evaluation of inflowing nutrients from groundwater on nutrient input in Lake Biwa

*小野寺 真一¹、齋藤 光代²、伴 修平³、森田 みなみ¹、金 広哲¹、友澤 裕介¹、奥田 昇⁴

*Shin-ichi Onodera¹, Mitsuyo Saito², Syuhei Ban³, Minami Morita¹, Guangzhe Jin¹, Yusuke Tomozawa¹, Noboru Okuda⁴

1.広島大学大学院総合科学研究科、2.岡山大学、3.滋賀県立大学、4.総合地球環境学研究所

1.Graduate School of Integrated and Arts Sciences, Hiroshima University, 2.Okayama University,

3.Siga Prefecture University, 4.Research Institute of Human and Nature

1. 目的

琵琶湖をはじめとする湖の栄養塩環境を明らかにするためには、これまで評価されてきていない地下水流入の影響についても評価する必要がある。本チームでは、琵琶湖における地下水流出の栄養塩供給についての影響を明らかにすることを目的とする。

2. 調査内容と結果

①琵琶湖南岸域（野洲）と西岸域（高島）に設置してある試験地（観測井群；深度1m、2m）において地下水位の時系列変化をモニターした。機器設置時点では、地下水の方が水圧が高く、流出傾向を示していた。今後、データを回収したのち、湖の水位との勾配から浅層地下水流出量を見積もる。②南岸および西岸において湖岸沿いに500mごとにRAD7によって²²²Rnを計測し、水試料を採水した。水試料については、実験室で酸素安定同位体比（ $\delta^{18}O$ ）、塩化物イオン（ Cl^- ）、栄養塩（窒素、リン、珪素）濃度を測定し、これらの空間分布を確認し、地下水湧出の傾向を確認した。特に西岸ではその傾向が強く、南岸でも野洲川河口域よりも離れたところで地下水流出の傾向が確認された。③湖岸の井戸20か所程度で地下水を採水し、河川水とともに溶存成分を確認した。特に、東岸（彦根）では浅層部（地下10m）に粘土層（難透水層）が分布することから被圧（深層）地下水も採水した。今のところ、計測した15地点のうち数点では溶存リン酸態リンで0.1ppmを超える高濃度域が出現した。④琵琶湖東岸において（彦根付近）、沖に向けて水深5m、10m、20mの地点および湖心でそれぞれ表層、中層、底層、底質間隙水の水試料を採取し、地下水のトレーサーとなるラドン（²²²Rn）濃度を計測した。水深20mの地点において底層でのRn濃度が沿岸よりも高く、最も地下水流出のシグナルが強い傾向が確認でき、従来評価されていない被圧地下水の湧出が明らかになった。

キーワード：琵琶湖、地下水湧出、栄養塩、被圧地下水

Keywords: Lake Biwa, Lake groundwater discharge, nutrient, confined groundwater

得水河川条件下での淡水レンズの室内実験観測

Experimental laboratory observation of freshwater lens under gaining river conditions

*河内 敦^{1,2}、Adrian Werner^{3,4}、Tariq Laatoo^{3,4}

*Atsushi Kawachi^{1,2}、Adrian Werner^{3,4}、Tariq Laatoo^{3,4}

1.筑波大学生命環境系、2.筑波大学北アフリカ研究センター、3.School of the Environment, Flinders University、4.National Centre for Groundwater Research and Training, Flinders University
1.Faculty of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, 2.Alliance for Research on North Africa, University of Tsukuba, 3.School of the Environment, Flinders University, 4.National Centre for Groundwater Research and Training, Flinders University

Buoyant freshwater lenses may result from fluvial processes in saline aquifers common to arid and semi-arid regions. Freshwater lens is the precious freshwater resource in the riverine ecosystem, and revealing its occurrence mechanism is very important for the management of freshwater lens. Riverine lenses formed here under losing river conditions are conceivably unambiguous, and moreover recent mathematical analysis also indicates that a lens may persist under gaining conditions. In this study, we performed physical sand tank modelling of a riverine freshwater lens with gaining conditions. The experimental procedure is analogous to a steady-state unconfined head-controlled physical seawater intrusion model except that the saltwater is mobile ensuring that both density and hydraulic forces act towards the river at all times. A continuously flushing in-tank freshwater reservoir was implemented to ensure density contrast between fresh river water and saline groundwater remained consistent throughout each experiment. The experiment was replicated three times using different head gradients in each case. Results are presented as photographs of the sand tank lens at steady-state. Predictions made by the analytical solution for lens interface, surface extent and maximum thickness are compared with those observed in the photographs. Each experiment successfully reproduced the lens predicted by the analytical solution, notwithstanding the limitations of steady-state sharp-interface solutions. The results of this experiment constitute the first physical evidence of this lens type.

キーワード：乾燥・半乾燥地域、得水河川、淡水レンズ、塩水帯水層、水槽実験

Keywords: arid and semi-arid regions, gaining river, freshwater lens, saline aquifer, sand tank modeling

児島湖の物質循環－底泥中の酸化還元から魚まで

Material cycles in Kojima Lake -From oxidation-reduction in the sediment to fish

千田 智史¹、*山本 民次¹、小野寺 真一²、丸山 豊²、金 広哲²、齋藤 光代³、藤田 和男⁴Satoshi Senda¹, *Tamiji Yamamoto¹, Shin-ichi Onodera², YUTAKA MARUYAMA², Guangzhe Jin², Mitsuyo Saito³, Kazuo Fujita⁴

1.広島大学大学院生物圏科学研究科、2.広島大学大学院総合科学研究科、3.岡山大学大学院環境生命科学研究科、4.岡山県環境保健センター

1.Graduate School of Biosphere Science, Hiroshima University, 2.Graduate School of Integrated Arts and Sciences, Hiroshima University, 3.Graduate School of Environmental and Life Science, 4.Okayama Prefectural Institute for Environmental Science and Public Health

児島湖は、岡山県南部に位置する人造湖である。児島湾干拓事業の一環として作られた締め切り堤防の建設（1959年）以降、児島湖の水質は悪化した。その後、下水処理場の整備が進み、水質は改善傾向にあるものの、漁獲量は大きく減少している。

児島湖の低次浮遊生態系における物質循環については、すでに県の報告などがあるが、本研究では、樋門付近の還元的底泥中での酸化還元過程と魚を加えた生態系モデルを作成し、児島湖全体の物質循環の把握を目指した数値モデルを構築したので、報告する。

2014年6月から年4回、現地の計5地点において水と泥についてサンプリングを実施した。泥の間隙水を含む水サンプルについて、栄養塩類、溶存金属類を分析し、底泥については、湿重量、乾重量、強熱減量（IL）、酸揮発性硫化物（AVS）、リンなどの分析を行った。湖心には、連続測定器を設置し、水温、水中蛍光強度、濁度、pH、溶存酸素濃度（DO）などを測定した。

児島湖のリンを中心とする物質循環を表す数値モデルをSTELLA(isee systems ver. 10.0.4)にて作成し、今回得られたデータおよび岡山県による水質調査公表データ等を検証値として再現するよう計算した。児島湖を樋門付近とそれ以外の水域に分け、水柱層と底泥層にリン循環に関係する各種コンパートメントを設定した。締め切り堤防に近い樋門付近の水域については、藤田ら（2012）の調査および今回の調査により、底泥が特に還元的であることが明らかだったため、底泥層にはマンガン（Mn）、鉄（Fe）などのコンパートメントを組み込み、酸化還元反応を表した。また、高次生物では水産統計資料から、フナが圧倒的に優占種と判断できたため、漁獲対象成魚と未成魚の2つのコンパートメントとして与えた。各コンパートメントの初期値をサンプリング結果および公表データから与え、タイムステップ1/64日（22.5分）で、1年間（366日間）の計算を行った。

水柱内の無機態リン（DIP）、有機態リン（DOP）などは季節変動を再現することができた。水柱に供給されるDIPのうち60%以上が水柱内の酸化分解によるものであったが、樋門水域では底泥からの溶出が3割程度を占めた。供給された無機態リンのうち、90%は植物プランクトンに利用され、植物プランクトンの一次生産と枯死が非常に大きなフローであることが分かった。

感度解析として、河川からのリンの負荷量が減少した場合の循環の変化を計算したところ、河川からの流入負荷が80%になると、小型魚類のバイオマスはほぼ半減した。河川からのリンの供給は全体の15%程度であるが、生態系の生産性の維持において極めて重要な影響を与えていることが理解できた。

キーワード：汽水、堤防、酸化還元、魚

Keywords: Brackish water, levee, oxidation-reduction, fish

Distribution of phosphorus carbon nitrogen and biogenic silica in sediment from Kojima Bay, Seto Inland Sea.

Distribution of phosphorus carbon nitrogen and biogenic silica in sediment from Kojima Bay, Seto Inland Sea.

*金 广哲¹、Onodera Shin-ichi¹、齋藤 光代²、佐藤 高晴¹、地下 まゆみ³、清水 裕太⁴

*Guangzhe Jin¹, Shin-ichi Onodera¹, Mitsuyo Saito², Takaharu Sato¹, Mayumi Jige³, Yuta Shimizu⁴

1.広島大学大学院総合科学研究科、2.岡山大学大学院環境生命科学研究科、3.大阪大谷大学教育学部、4.農研機構近畿中国四国農業研究センター

1.Graduate School of Integrated Arts and Science,Hiroshima University, 2. Graduate School of Environmental and Life Science, Okayama University , 3.Faculty of education, Osaka Ohtani University, 4.NARO Western Region Agricultural Research Center(NARO/WARC)

River mouth estuaries receives large quantities of terrestrial derived nutrients via rivers and it is an important pathway for which transported to the sea. It has significant alternations on sediment accumulated nutrient and recycled nutrient has bought impact on local nutrient balance and eutrophication events. In central Japan from 1960s, coastal land reclamation has increased the terrestrial nutrient discharge from reclaimed agriculture farmland, meanwhile, the artificial dam lake has increased the nutrient retention which may have changed the nutrient pattern in this area. Our objective is to clarify the nutrient distribution along the river mouth area from central Seto Inland Sea area, clarify the possible impacts on nutrient accumulation and recirculation from artificial dam construction.

Two cores were taken by piston sampler and 27 surface sediment samples were also collected from Kojima Bay and connected artificial Lake, samples were analyzed for nitrogen carbon phosphorus and biogenic silica. ¹³⁷Cs and ²¹⁰Pb activity were determined for sediment dating and calculation of sediment accumulation rate. Surface sediment shows higher level of nitrogen and carbon accumulated in brackish bay and high level of phosphorus in the lake. In both cores, carbon and nitrogen contents decreased with depth, suggests the decomposition and released to the overlying water. N:P molar ratio shows 4 times higher in Bay than the connected lake. This suggests large nitrogen and organic matter resources supplied from several main rivers, and the phosphorus is accumulated less efficiency than nitrogen and carbon in the brackish bay. core profiles shows phosphorus contents increased after 1950s, with two peaks at 1970s and 2000s, indicates the hypereutrophic event in 1970s and accumulation of recycled P in the surface oxide sediment. Nitrogen phosphorus and carbon shows significant different between two cores, in core from brackish Bay, N:P ratios increased from 12:1 at surface to 16:1 at around 20 cm, then gradually decreased to around 5:1, suggests that over time proportionately more phosphorus than nitrogen is released and transported out of sediments, hypereutrophic events in 1970s (21cm) increased nitrogen discharge and still remains a peak in the core record. On the other hand, core from artificial lake shows relatively low N:P ratio from 3:1 at surface increased to 8:1 at 60cm, suggests the phosphorus is more mobile than nitrogen in these sediment. The biogenic silica shows a low content level before 1950s at 40cm and comparably higher level at from 1950s to 1990s. After 1990s. The biogenic silica content shows a decreasing trend and remains at low level until 2009. This may infers that before the dam of Kojima lake is enclosed, The higher river flow before the dam constructed may have a dilution effect on the Bsi retention in this area because the sediment Bsi is mainly reflected the history of water soluble silica content and the aquatic primary productivity of phytoplankton(such as diatom). The terrestrial resources and the water flow affect the retention of biogenic silica in sediment. After the dam enclosed, the water environment became stable and it is easier for the biogenic stabilization. The heavy nutrient

inflow and eutrophication during 1970s leads to a boom of plankton, which may leads to a higher production of diatoms. It may result in the higher biogenic silica content in sediment during that time. After 1990s with the consumption of silica in the lake, decreased water soluble silica content decreased the production of diatoms and resources of biogenic silica. This may leads to the lower level of biogenic silica after 1990s.

キーワード : Sediment、Phosphorus、Carbon、Nitorgen、Biogenic Silica、Kojima Bay

Keywords: Sediment, Phosphorus, Carbon, Nitorgen, Biogenic Silica, Kojima Bay

炭素同位体比を用いた河川から海洋への粒子態有機物の移行に関する研究

Study on transport of particulate organic matter from river to ocean using carbon isotopes

*長尾 誠也¹*Seiya Nagao¹

1. 金沢大学環日本海域環境研究センター

1. Institute of Nature and Environmental Technology, Kanazawa University

Global riverine discharge of organic matter to the ocean represents a substantial source of dissolved terrestrial matter and organic carbon particulates. The inputs and fates of terrestrially derived organic carbon discharged to the coastal ocean is still not fully constrained. To resolve the present situation, many scientists have been investigated using a variety of geochemical approaches such as $\delta^{13}\text{C}$, C/N ratio and lignin biomarker analyses. Radiocarbon abundances have become an additional indicator of terrestrial versus marine sources because nuclear weapons testing in the 1950s and 1960s injected large quantities of ^{14}C into the atmosphere. This study reports the fate of riverine particulate organic matter (POM) in watershed with forest, paddy field and wetland at eight river systems in Japan by using simultaneous use of $\delta^{14}\text{C}$ and $\delta^{13}\text{C}$.

We selected two rivers in wetland, Bekanbeushi and Kushiro Rivers, and six rivers in forest and paddy field such as the Ishikari, Saru and Teshio Rivers in northern part of Japan, Kuzuryu River in the central part and the Chikugo River in Kyushu Island in Japan. Suspended particles were concentrated with a single-flow continuous-flow centrifuge from 60-100 l of river waters.

Organic carbon contents were determined using a elemental analyzer. Prior to analysis for the riverine suspended solids, carbonates were removed by adding 0.1 M HCl solution. ^{14}C measurements were performed by accelerator mass spectrometry at the Japan Atomic Energy Agency and the National Institute for Environmental Studies in Japan. The $\delta^{14}\text{C}$ is defined as the deviation in parts per thousand from the modern standard. $\delta^{13}\text{C}$ values were determined for sub-samples of the CO_2 gas generated during graphite production, using an isotope ratio mass spectrometer.

The paired $\delta^{14}\text{C}$ vs. $\delta^{13}\text{C}$ distributions vary with the river systems and divided into three groups. Riverine POM in wetland has lower in $\delta^{13}\text{C}$ and higher in ^{14}C rather than those of rivers in forest and fluvial plain. This indicates higher contribution of younger organic matter at the wetland river systems. The riverine POM has different ranges of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{14}\text{C}$ among the rivers running through forest area. The Teshio River samples are plotted in higher $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{14}\text{C}$ than those of other rivers. The Tokachi River has larger variations of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{14}\text{C}$ values. On the other hand, the Ishikari and Saru Rivers are almost plotted in similar distribution area except for the spring snow melt sample of the Saru. The $\delta^{14}\text{C}$ values of Saru River are -29‰ to -24‰ for the summer and -72‰ for the spring samples. The similar result was observed for the spring samples of Tokachi and Bekanbeushi Rivers. The riverine POM with older age shows the presence of fossil organic matter such as bitumens or kerogen, and/or the entrainment of terrigenous organic matter of long residence times within the drainage basin. The Kuzuryu River system shows different distribution at the Kuzuryu and its branch river, Hino River. Consequently, the land-use type in the river watershed is related to the sources as well as the transport and sedimentation processes of POM.

キーワード：粒子態有機物、放射性炭素、沿岸域堆積物、加速器質量分析計

Keywords: POM, radiocarbon, coastal sediment, AMS

大阪湾における河川プリュームの動態解析：海色衛星観測データを用いた海表面塩分の新推定法
Analysis of the river plume dynamics in Osaka Bay: a new estimation of sea surface salinity using ocean color satellite images.

*中田 聡史¹、小林 志保²、石坂 丞二³、林 正能⁵、淵 真輝¹、中嶋 昌紀⁴

*Satoshi Nakada¹, Shiho Kobayashi², Joji Ishizaka³, Masataka Hayashi⁵, Masaki Fuchi¹, Masaki Nakajima⁴

1.神戸大学海事科学研究科、2.京都大学フィールド科学教育研究センター、3.名古屋大学宇宙地球環境研究所、4.大阪府立環境農林水産総合研究所、5.名古屋大学大学院環境学研究科

1.Graduate School of Maritime Sciences, Kobe University, 2.Field Science Education and Research Center, Kyoto University, 3.Institute for Space-Earth Environmental Research, 4.Research Institute of Environment, Agriculture and Fisheries Osaka Prefecture, 5.Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University

河川から沿岸海域に出水される低塩分水（河川プリューム）は陸域由来の有機物を多く含むため、海洋生態系や漁場環境への栄養塩を供給する。しかし、時として有害な赤潮を引き起こすこともある。それゆえ、低塩分水の指標となる海表面塩分（SSS）の情報は、内湾域の水環境のみならず漁場環境の保全の観点から非常に重要であり、沿岸漁業者からも関心が高い。近年、衛星観測技術の発達により、毎日の海表面水温だけでなく、SSSも面的にわかるようになった。従来のSSSデータの水平分解能は約50 km（例えば、SAC-D衛星）であるため、沿岸域で使用するには極めて困難で、観測誤差も大きい。ゆえに、沿岸域において衛星データから塩分場を推定する手法は未だ確立されていない。沿岸域には、河川出水などの陸水由来の有色溶存有機物（CDOM）が存在し、CDOM濃度と塩分値には高い相関関係があることが知られている。本研究ではこの関係を利用して、海洋観測に基づいて、衛星観測により得られたCDOM濃度から海表面塩分値を推定する。海色衛星データから推定した海表面塩分マップを整備し、河川プリュームの動態を解析する。

河川からの陸水負荷が大きく、現場観測データが豊富である大阪湾沿岸海域を実験対象とした。2011年より、「千里眼」と呼ばれる静止衛星の毎時観測によって得られた高解像度(500 m)のGOCIプロダクトを使用した。河川出水が卓越する夏季から秋季にかけて沿岸海域において現場観測・採水を実施し、塩分プロファイルを取得、表層海水中の現場CDOM濃度を測定した。また、関係機関により観測されている多くの現地定点・定線観測による塩分データを収集し、これらの観測データを用いてCDOM衛星データから塩分値の推定式を作成した。解析結果の一例として、本発表では2015年7月～9月における淀川からの河川プリュームの水平パターンやその時間変動を、気象擾乱による河川出水等の陸水イベントと関連付けながら紹介する。

キーワード：海色衛星画像、有色溶存有機物、海表面塩分、河川プリューム

Keywords: ocean color satellite images, coloring dissolved organic material, sea surface salinity, river plume

北陸地方の森林小流域における物質動態観測 -2013~2015年の観測結果から-
Element fluxes through a small forested watershed at Hokuriku district

*伊藤 優子¹、小倉 晃²、高瀬 恵次³

*Yuko Itoh¹, Akira Ogura², Keiji Takase³

1.国立研究開発法人 森林総合研究所、2.石川県、3.石川県立大学

1.Forestry and Forest Products Research Institute, Japan, 2.Ishikawa Prefecture, 3.Ishikawa Prefecture University

1990年代後半以降のアジア諸国の急激な経済発展に伴い、大気に排出された窒素を含む汚染物質の移流による環境影響が日本海側の地域で懸念されている。しかしながら、これらの地域のうち、北陸地方は多雪地域であるため、冬期の森林における物質動態観測が困難であり、これまで年間を通じた森林流域の物質収支の実態は不明な点が多かった。

本研究では、石川県の手取川流域に位置する森林流域試験地において、積雪期間も含め、年間を通じた物質動態観測を行い、多雪地域の森林への物質の流入-流出の実態を解明し、大気由来物質に対する越境大気汚染の寄与を解明すること、また、すでに窒素飽和が生じている首都圏周辺部の森林流域と比較する事を目的とした。

本研究は手取川下流域に広がる扇状地の扇頂部付近に位置する石川県農林総合センター林業試験場構内および隣接する森林理水試験地において2013年6月から観測を開始した。大気から森林へ流入し、渓流水として下流域へ流出するまでの物質動態の実態解明のため、林外雨(雪)、林内雨(雪)、 A_0 層通過水、土壌水、地下水、渓流水を採取し、主要溶存成分および微量成分濃度の分析を行った。観測期間中の年間降水量は2870~3350mmの範囲で、年間を通じて降水量が多かったが、積雪量は年変動が大きかった。林外雨、林内雨の観測から、大気由来物質の流入には明瞭な季節変動があり、冬期(10月~3月)に多くの成分流入量が増加した。また、関東地方の森林流域とは異なり、林外雨、林内雨の成分の平均組成は類似していた。林外雨による2014年の無機態窒素(アンモニア態窒素+硝酸態窒素)の流入量は 23.1 kg ha^{-1} であった。冬期の林外雨による無機態窒素流入量は夏期(4月~9月)の2.6倍、硫酸態硫黄では4.5倍であり、年間の流入量に占める冬期の割合が高かった。一方、本研究流域からの流出水中の成分濃度には明瞭な季節変動は見られなかった。本研究流域の無機態窒素の年間流入量は関東地方の窒素飽和流域と同等もしくはそれを上回る流入量であったが、大気から流入した窒素の多くが流域内に保持され、流出水中の硝酸イオン濃度は低濃度で安定していた。越境大気汚染の影響の評価として、無機態窒素等の主要成分の流入量の季節変動だけでなく、人為起源物質の指標となる微量元素(Pb、V等)と排出起源の異なる元素(海塩、黄砂等)を用いた元素比による解析が大気汚染物質の起源や影響評価に有効である事が示唆された。

作業道の作設をともなう間伐作業時における森林からの流出成分の一時的な変化
Temporal changes in stream water chemistry during forest thinning and logging road construction

*小林 政広¹、篠宮 佳樹²、伊藤 優子¹、坪山 良夫¹

*Masahiro Kobayashi¹, Yoshiki Shinomiya², Yuko Itoh¹, Yoshio Tsuboyama¹

1.国立研究開発法人森林総合研究所、2.国立研究開発法人森林総合研究所東北支所

1.Forestry and Forest Products Research Institute, 2.Tohoku Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute

森林の利用や管理のために行われる各種の施業は、渓流水の溶存成分に影響を及ぼすことがある。森林の皆伐後、渓流水中のNO₃⁻濃度が上昇することはよく知られている。これに対して、間伐の影響については研究事例が必ずしも十分ではなく、不明の点が多い。著者らが渓流水のモニタリングを続けている茨城県城里町に位置するスギを主体とする森林流域において、2013年の夏季に作業道の作設を伴う間伐が実施された。この期間もモニタリングを継続し、データを得ることができた。本研究の目的は、間伐施業が本森林流域からの流出成分及ぼす短期的な影響を明らかにすることである。

本森林流域における間伐では、沢沿いに作業道が作設され、林業機械を用いてスギの植栽列の7列につき2列が伐採された。間伐作業中には、伐採した樹木の枝条を谷に敷き詰め、作業完了時には、この枝条で作業道の法面が覆われた。作業期間中、溪流に流れ込んだ土砂の堆積物が観察された。

間伐期間中、渓流水中のK⁺、Ca⁺、およびDOC濃度が顕著に上昇した。一方、NO₃⁻濃度は低下してほぼ検出されないレベルになった。同期間中、溪流の河床にゼリー状の薄層の発生が観察された。これは水生微生物による「バイオフィルム」であると考えられた。間伐完了後、K⁺、Ca⁺、DOC、NO₃⁻の濃度は、元のレベルに戻った。増加した渓流水中のK⁺、Ca⁺、およびDOCは、間伐時に谷に敷き詰められた枝条の生葉または溪流に堆積した土砂から溶出した可能性が考えられた。また、NO₃⁻濃度の低下の原因として、溶出したK⁺、Ca⁺、およびDOCを栄養として増殖した微生物による取り込みが考えられた。

キーワード：森林、流出成分、間伐

Keywords: forest, stream chemistry, thinning

ダム貯水地の堆砂と海岸侵食の量的な関係およびその将来予測に関する検討

Quantitative relationship between sediment storage in dam reservoir and coastal erosion as the basis of future sediment management and planning

*Yokoo Yoshiyuki¹、有働 恵子²

*Yoshiyuki Yokoo¹, Keiko Udo²

1.福島大学、2.東北大学

1.Fukushima University, 2.Tohoku University

Toward comprehensive sediment management and planning in future, the present study investigated quantitative relationship between sediment storage in upstream dam reservoirs and downstream coastal erosion as the basis of future sediment management and planning. Firstly, we mapped sediment storage in 966 dam reservoirs in Japan, where we employed total sediment volume stored since their constructions. Secondly, we estimated volumetric coastal erosion of the 71 Japanese coastal zones between 1903 and 1991. Thirdly, we calculated total sediment storage in dam reservoirs located in the upstream area of a coastal zone for all the coastal zones. And finally, we plotted total sediment storage in upstream dam reservoirs and downstream coastal erosion to find positive and significant correlation between them.

Based on the result that upstream dam sediment storage certainly increase downstream coastal erosion, we then explored a simple methodology to estimate dam sediment storage in future based on the relationship between hourly precipitation intensity and hourly sediment inflow to dam reservoir estimated by water inflow to dam reservoir and its turbidity. We found remarkable correlation between precipitation intensity and sediment inflow; hence we expect that future sediment inflow to upstream dam reservoirs and downstream coastal erosion could be estimated if hourly precipitation, water inflow and its turbidity are continuously monitored in the watershed of dam reservoirs.

キーワード：ダム貯水池、海岸侵食、将来予測、土砂、河川流量、濁度

Keywords: Dam reservoir, Coastal erosion, Future prediction, Sediment, River flow quantity, Turbidity

阿武隈山中の農業用ため池における浮遊物質動態の特徴

The feature of the suspended solid movement on an irrigation pond in the Abukuma Mountains

*久保田 富次郎¹、申 文浩¹、濱田 康治¹、人見 忠良¹*Tomijiro Kubota¹, Moono Shin¹, Koji Hamada¹, Tadayoshi Hitomi¹

1.国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構

1.National Agriculture and Food Research Organization

2011年3月11日に発生した東日本大震災に起因する原子力災害により、福島県の一部地域で放射性Csによる沈着が生じ、今後の復興に向けた懸念要因の一つとなっている。そのため、この地域において放射性Csの動態を把握することが重要な課題である。一方、林地からの放射性Csの流出をはじめとして、溪流や河川等の水系を通じた放射性Csの動態においては、全放射性Csに占める溶存態放射性Csの割合は全般に少なく、懸濁態放射性Csの割合が卓越することが報告されている。従って、水系を通じた放射性Csの動態を総量で把握するためには、まず浮遊物質の動態を把握することが課題となる。

本研究では、放射性Csの蓄積が課題となっている農業用ため池を対象として、浮遊物質の動態を阿武隈山中の実際のため池における現地観測に基づいて、その特性について検討を行う。調査ため池は、福島県飯舘村の阿武隈山中に立地する谷型ため池であり、最大水深は、満水時で3.3mである。流入溪流は2本あり、流出は斜樋と洪水吐の2経路である。このうち斜樋を閉じることで洪水吐のみから流出が生じるよう設定した。

浮遊物質の観測は、流入・流出合わせて3地点において自動採水器による試水分析と濁度計を用いて浮遊物質濃度を連続的に推定した。また、流量は、水位観測とともに量水堰および堰の流量公式を用いて算定した。浮遊物質濃度と流量を用いて浮遊物質負荷量を算定した。

2014年5月中旬より12月初旬までの調査期間について、浮遊物質負荷量の収支を検討したところ、流入はトータルで60.7t、内訳を見ると、溪流1で40.9t、溪流2で19.8tであった。一方、洪水吐からの流出は8.3tと少なかった。このように収支を見ると、調査期間で52.4tが貯水池に蓄積した計算であり、ため池に流入する浮遊物質のうち、86%はため池に蓄積し、流出は14%と限られていた。

今後は、放射性Csの動態も含めて検討を進めていきたい。

キーワード：農業用ため池、浮遊物質

Keywords: irrigation pond, suspended solids

瀬戸内海沿岸域における管理放棄農業流域からの物質流出量の推定

Estimation of material flux from an abandoned agricultural watershed in coastal area of Seto Inland Sea, western Japan

*清水 裕太¹、松森 堅治¹

*Yuta Shimizu¹, Kenji Matsumori¹

1. 農業・食品産業技術総合研究機構・近畿中国四国農業研究センター

1. National Agriculture and Food Research Organization, Western Region Agricultural Research Center

流域からの水・土砂流出量変動に及ぼす水田の耕作放棄の影響を評価するため、芦田川水系谷尻川流域を対象にSWATモデルを用いたシナリオ解析を行った。谷尻川流域は広島県福山市近郊の中山間地に位置しており、種水位観測所を最下流とする流域面積2.6km²を対象とした。かつては谷筋に水田が、丘陵地上に畑地が存在していたが、2006年時の土地利用は森林・荒地が87%、畑地が7%、水田が6%となっており、すでに耕作放棄によって森林または荒地と化している。本研究では気象データ以外が比較的揃っている2007年以降を対象に、パラメーターの調整および検証を行い、現在および過去の土地利用時の推定結果を比較することで、その影響を評価した。水田の耕作放棄に伴う水文プロセスの変化については、異なる種類の水田土壌が充填されたライシメーターを用いた観測結果および既存文献を参考に検証を行った。試算の結果、放棄後経過年数の分布パターンに応じて水・土砂流出量に変化した。特に放棄前の水田が乾田か湿田かの違いにより大きく異なること、さらに水田の耕作放棄の進行による土壌の物理性の変化や木本類の侵入に起因して、最終的に流域末端への水・土砂流出に影響を及ぼす可能性が示された。

キーワード：物質輸送、管理放棄農林地、SWATモデル

Keywords: Material transport, Abandoned agricultural-forestry, Soil and Water Assessment Tool

SWATを用いた、茨城県流域における施肥改善による栄養塩負荷低減効果の予測
Applying SWAT model to estimate effects to mitigate nutrient losses by improved
fertilization in Ibaraki, Japan

*吉川 省子¹、神山 和則¹、清水 裕太²、江口 定夫¹

*Seiko Yoshikawa¹, Kazunori Kohyama¹, Yuta Shimizu², Sadao Eguchi¹

1.農業環境技術研究所、2.農研機構近畿中国四国農業研究センター

1.National Institute for Agro-Environmental Sciences, 2.NARO Western Region Agricultural Research Center

【目的】湖沼資源の持続的利用や保全のためには、流入河川の流量や水質の適切な管理が重要である。水質汚濁が問題となっている茨城県の霞ヶ浦に注ぐ利根川支流桜川流域について、流域モデル（SWAT）により流量・水質の予測を行う。【方法】基本データには国交省のDEM(10mメッシュ, 国交省), 土地利用データ(100mメッシュ, 国交省), および包括的土壌分類ポリゴンデータ(100mメッシュ, 農業環境技術研究所)を用いた。土壌特性値にはSolphyJ(土壌物理性DB)を、気象データは3地点の気象データを用いた。農地には水稲、野菜など平均的な肥培管理を入力し、水田には霞ヶ浦用水の平均灌漑水量を日単位で入力した。観測地点上流部では、シミュレーション期間では下水道が普及していなかったため市街地からの生活排水は一定量がサブ流域の河川に一定速度で加わるとした。その際、市街地の人口密度は一定と仮定した。表面流去は“Daily Rain/CN/Daily Route法を用い、ウオーミングアップ期間(2000~2002), キャリブレーション期間(2003~2005), バリデーション期間(2006~2008)を各3年間とし、流量、セディメント(SS)、Org-N、NO₃-N、Org-P、Min-Pを調べた。その際、下流の観測地点の流量(連続データ)および月1~2回のSS、T-N、NO₃-N、T-P、Ortho-P濃度との適合性を調べた。その結果、日々の流量、SSについてはよい精度の予測($R^2 > 0.6$, NSE (Nash-Sutcliffe efficiency coefficient) > 0.6) が得られ、栄養塩(Org-N, Org-P, and NO₃-N)についてはある程度の相関(R^2 は0.3~0.8, NSEは0.1~0.4)が得られた。改善施肥: 緩効性肥料施用を想定した多回少量施肥により、NO₃-Nの流出を約20%減らせることが予測された。

キーワード: SWATモデル、栄養塩流出、施肥改善

Keywords: SWAT model, nutrient discharge, improved fertilization

渇水リスク地域における水の再利用と栄養塩濃度空間分布

Water reuse and Spatial distribution of Nutrient in drought risk area, Marugame plain

*渡邊 翔太¹、小野寺 真一¹、齋藤 光代²、友澤 裕介¹、金 広哲¹*Shota Watanabe¹, Shin-ichi Onodera¹, Mitsuyo Saito², Yusuke Tomozawa¹, Guangzhe Jin¹

1. 広島大学大学院 総合科学研究科、2. 岡山大学大学院 環境生命科学研究科

1. Graduate School of Integrated Arts and Sciences Hiroshima university, 2. Graduate School of Environmental and Life Sciences Okayama university

Global warming causes climate change in recent years and Japan is no exception. Risk of water shortages is increasing around the West Japan. The annual precipitation in Seto Inland Sea climate area is from 1000 to 1600 mm. Especially, the Kagawa prefecture receives only about 1082 mm of precipitation per a year. This value is the lowest in that area. The people have formed agricultural zone where they do original custom of water use (agriculture ponds and shallow groundwater) for decreasing drought risk. But groundwater contaminated with nitrate nitrogen matters in agricultural zone in Japan. The cause is mainly chemical fertilizer or compost and barnyard manure. In Kagawa prefecture, shallow groundwater is repeatedly used for agriculture. So, nutrient is condensed in shallow groundwater. But, Kagawa prefecture has many agriculture ponds in Japan and nutrient is consumed in agriculture ponds.

However, it doesn't reveal how is spatial distribution of nutrient in Surface water-groundwater chain system area. So, We confirmed spatial distribution of nutrient and water stable isotope ratio and revealed the effect of too much water use to water environment in this study area, Marugame plain.

The result indicates Kanakura-river in Marugame plain is affected by depuration

Shallow groundwater results show groundwater in upstream area contaminates with nitrate nitrogen by fertilizer, but groundwater in downstream area decrease nitrate nitrogen concentration by denitrification.

Agriculture ponds water's oxygen isotope ratio and chloride ion concentration

increase from upstream area to downstream area in Marugame plain. This result indicates that agricultural water evaporate. Nutrient balance considering evaporation in ponds show that supply of nutrient is higher than consumption of that in agriculture ponds in upstream area, but agriculture ponds in downstream area show opposite results. It can be said that purifying function of agriculture ponds is valid and the system which controls nutrient flowing to Seto Inland sea.

キーワード：栄養塩、空間分布、渇水リスク

Keywords: Nutrient, Spatial distribution, drought risk

水生生物を用いた河川の水質評価方法の検討

Study of the water environment evaluation method using aquatic organisms

*岡島 一徳¹、増本 雄哉¹、中屋 眞司¹

*Kazunori Okajima¹, Yuya Masumoto¹, Shinji Nakaya¹

1.信州大学工学部

1.Department of Civil Engineering, Shinshu University

In order to evaluate the desirable water environment, it's necessary to have the perspective of various water environmental factors in addition to water quality like Biochemical Oxygen Demand (BOD). For example, there are water quantity, aquatic organisms and the waterside environment. We can know the soundness of water environment by investigating aquatic organisms, because aquatic organisms are affected by various factors of water environment. Ministry of the Environment is considering the method that can be evaluated for water environment soundness using an average score per taxon (ASPT) of benthos in river. This method is called "Biological Monitoring Working Party System in Japanese version". The method has different advantage from the indicator of water quality like BOD. Civilians can understand more easily whether water environment is good, and have friendly feeling to the waterside. In order to improve the advantage of the method, it needs to set reference values of ASPT. In this study, we examined the setting of the reference values of ASPT based on BOD by analyzing the correlation between BOD and ASPT. As the results, we suggested that it's more possible for ASPT to set reference values in middle basin of river than in lower basin.

湿原に隣接した未利用牧草地における水質浄化機能の評価

Estimation of water quality improvement function of an abandoned meadow adjacent to mire area

*木塚 俊和¹、三上 英敏¹、亀山 哲²、小野 理¹

*Toshikazu Kizuka¹, Hidetoshi Mikami¹, Satoshi Kameyama², Satoru Ono¹

1. 地方独立行政法人北海道立総合研究機構環境科学研究センター、2. 国立研究開発法人国立環境研究所生物・生態系環境研究センター

1. Institute of Environmental Sciences, Hokkaido Research Organization, 2. Center for Environmental Biology and Ecosystem Studies, National Institute for Environmental Studies

北海道東部の根釧地域には日本でも有数の大規模酪農地帯が広がっている。酪農草地流域では窒素やリンなどの栄養塩の流出が下流域の湿原や湖沼などで富栄養化をもたらし、生物多様性の低下や水産業への影響が懸念されてきた。一方、最近では、湿原辺縁部や河川周辺を中心に、排水不良によって耕作が困難な牧草地が目立つようになってきている。このように、道東の酪農草地流域では、汚濁負荷削減と未利用牧草地の有効利用が重要な課題となっている。我々は、湿地が持つ生態学的な栄養塩の浄化機能に着目し、未利用牧草地の有効利用策のひとつとして、水質浄化機能を備えた緩衝帯としての役割について検討している。本報では、現地の未利用牧草地を対象に、地下水と地表水の窒素・リン濃度や水文環境の観測に基づき、圃場内の栄養塩動態を明らかにすることを目的とした。

我々は、釧路湿原国立公園を下流域に持つ、阿寒郡鶴居村の未利用牧草地を研究対象地とした。本研究では四方を明渠排水路に囲まれた約100 m×175 mを調査区とした。本調査区では水位の低い時期に圃場の一部で採草が行われる以外は放棄され、湿生植物を含む雑草が繁茂している。調査区の地形を調べるために、調査区内68地点を対象にレベル測量を行った。調査区内に25 m四方の方形区を28区画設け、各区画の中心点に地下水位観測管とピエゾメータを設置した。ピエゾメータは受圧部が地面から30、80、130 cmの深さになるよう各地点3本ずつ設置した。2015年8・10月に地下水位観測管とピエゾメータ内の水位を手動で測定した。調査区および排水路の水位変動特性を評価するために、調査区内で標高が低く常時冠水している地点に1箇所、調査区の北側と南側の明渠排水路各1箇所に自記水位計を設置し、8~11月に水位を連続観測した。地盤の透水性を評価するために、調査区内4地点で、ピエゾメータを用いた単孔式透水試験を行った。水位の手動測定と同時期(8・10月)に各深度のピエゾメータ内の地下水を採取した。試料水はろ過後、全窒素、全リン、およびイオン態の窒素・リン濃度を測定した。

レベル測量の結果、調査区は北から南へ1/200程度の勾配で緩やかに低下していた。また、東側と西側の明渠排水路に沿って地盤がやや低下していた。自記水位計による水位の連続測定の結果、調査区内の水位は調査期間中に約52 cmの変動が見られた。調査区の地盤と自記水位計による水面の標高をもとに調査区内の冠水状況を調べたところ、水位が最も高い時には調査区内のほぼすべての場所で冠水したと考えられた。また、地盤の低い東側と西側の明渠排水路近傍では調査期間中常時冠水し、地盤の最も低い地点では水深が最大で64 cmに達することがわかった。このことから、調査区の水文環境は汎濫性の湿地のような状態にあること、また、調査区の地形特性を反映して地下水位が場所によって大きく異なることが考えられた。調査区内28地点の地下水位測定結果によると、10月の地下水位は地形特性を反映して北から南にかけて、また、東側と西側の明渠排水路に向けて低下する傾向が見られた。地盤の透水係数は、全体で見ると $10^{-8} \sim 10^{-5} \text{ m s}^{-1}$ オーダーの値を示し、釧路湿原内の泥炭地での値に比べて小さかった。とくに、浅い層の透水性が悪いことから、農業用作業車による踏圧の影響が示唆された。地表付近の硬盤層は降水の地下への浸入を妨げることから、調査区では表面流出が起こりやすい可能性がある。調査区の地下水では高濃度の栄養塩が局所的に見られた。全窒素は圃場中央の30 cm深度で濃度のピークが認められ、地下水が深くなるにつれて濃度が低下し、なおかつピークの場所が東側の明渠排水路に移動する傾向が見られた。このことから、地表付近にある何らかの栄養塩ソースから、移流と拡散によって窒素成分が移動し、明渠排水路方向に流出していたと推察される。8月から10月にかけて窒素濃度は全体的にやや低下するものの、ほぼ同様の空間分布が見られたことから、調査区からの窒素流出は調査期間を通して生じていたと考えられる。今後、調査区内の栄養塩移動量を算出し、未利用牧草地における栄養塩浄化量を

評価する予定である。

キーワード：透水係数、栄養塩、泥炭地、空間分布、水位変動、冠水

Keywords: Hydraulic conductivity, Nutrient, Peatland, Spatial distribution, Water level change,
Waterlogging

河川水系における微量元素の川から水稻体内への輸送メカニズム

Transportation mechanism of trace elements from river to the inside of paddy rice in river water system

*室田 健吾¹、中屋 眞司^{1,2}、石川 満範¹、益田 晴恵³

*kengo muroda¹, Shinji Nakaya^{1,2}, Mistunori Ishikawa¹, Harue Masuda³

1.信州大学工学部土木工学科、2.信州大学工学部水環境・土木工学科、3.大阪市立大学理学研究科

1.Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Shinshu University, 2.Department of Water Environment and Civil Engineering, Faculty of Engineering, Shinshu University, 3.Department of Geosciences, Faculty of Science, Osaka City University

Some toxic and nutrient trace elements are often transported to paddy field through irrigation from river water. The transportation mechanism of toxic trace elements in a local river water system is important for sustainable, environmental conservation and for risk reduction. In order to clarify the mechanism for transportation and deposition of toxic trace elements from river water to paddy rice, we analyze the concentration of trace and major elements in two river waters, paddy field waters, and paddy rice, root, shoot, leaf, and grain, separately, in headwaters, which is in volcanic rock areas near Mt. Asama and Mt. Yatsugatake in Saku, Nagano. The number of sampling are at 15 points in waters of river and of paddy field, and 2 points in paddy rice in each Asama area and Yatsugatake area.

From the correlation between major elements and toxic trace elements, it is inferred that Fe-colloid works as an attracter due to sorption to trace elements in a river. In paddy field, some trace elements are likely to precipitate with Fe-colloid, and other trace elements in water-soluble state can infiltrate into soil. The following conclusions are obtained: 1) The toxic trace elements in river waters are with compatible major attracter elements; (a) Fe-colloid for (Cr, Cu, Ga, La, Zn, Cs, U) and (Ti, Al, Mn) in Mt. Yatsugatake area, (b) Fe-colloid for (Cr, Cu, Zn) and (Al) in Mt. Asama area, 2) (a) No attracter for (Se, Rb, Sr) in river water in Mt. Yatsugatake area, (b) No attracter for (Se, V, Ga, Ge, Sr, Y, Cs, Ba, La, U) and (Mn, Ti) in river water in Mt. Asama area. And 3) (As, Cd, Mn, Ni, Sb, Sr, Zn) are transported with Fe from root to shoot in paddy rice, while (As, Co, Mn, Sr, Zn) are transported with Fe from shoot to grain in paddy rice, and (Sr, Zn) are transported with Fe from shoot to leaf in paddy rice. Especially, we conclude that As is transported with Fe from root to grain through root in paddy rice.

From the described above, it is modeled that first, Fe-colloid works as an attracter of trace elements, transporting them to paddy fields, second, Fe works as a transporter of trace elements from root to shoot, however, from shoot to leaf, and from shoot to grain, some trace elements are transported and deposited in separating from Fe.

キーワード：有害微量元素、米、河川、コロイド、八ヶ岳、浅間山

Keywords: toxic trace element, rice, river, colloid, Mt. Yatsugatake, Mt. Asama

逐次抽出法を用いた野洲川における懸濁態リンの生物利用可能性とその起源評価

Evaluation of the source and bioavailability of particulate phosphorus in Yasu River by using sequential extraction methods

*千代 真照¹、尾坂 兼一²、藤田 健斗¹、永淵 修²、奥田 昇³

*Shinsho Chishiro¹, Ken'ichi Osaka², Kento Fujita¹, Osamu Nagafuchi², Noboru Okuda³

1.滋賀県立大学大学院環境科学研究科、2.滋賀県立大学環境科学部、3.総合地球環境学研究所

1.Environmental Science Graduate, the University of Shiga Prefecture, 2.Department of ecosystem study, University of Shiga Prefecture, 3.Research Institute for Humanity and Nature

It is well known that primary production in Lake Biwa is limited by phosphorus, and that means phosphorus load into Lake Biwa influence on its environment. In general, it is considered that algae in lake use PO_4 -P as a phosphorus nutrient, however, it has been revealed that a part of particulate phosphorus (PP) also might be used as nutrient in recent study. It has been reported that the load of PP discharged through river increases during ploughing and irrigating the fields or rainfall event, and most of the annual phosphorus load discharged through river is PP. However, there are a few studies that clarify the sources and bioavailability of fraction of PP discharged through river in Japan. The purpose of this study is to estimate sources of bioavailable fractions of PP discharged through Yasu river into Lake Biwa.

River water samples were collected from 5 sites in Yasu river once or twice a week from April 2015 to May 2015. Drainage from paddy fields were collected from Koka city, where locates in middle part of Yasu river watershed once a month between May and July. Furthermore, river water samples after rainfall event were collected from 10 rivers flowing into Lake Biwa on September 2015. After sampling, we separated several fractions of PP from suspended solids by sequential extraction methods (1M ammonium chloride, 0.11M bicarbonate dithionite, 1M NaOH, 0.5M HCl extraction) in water sample. In this method, PO_4 -P is extracted from the particle fraction with high bioavailability in sequence. PO_4 -P extracted from the particle fraction was determined by the molybdenum-blue method.

キーワード：懸濁態リン、逐次抽出、生物利用可能性、琵琶湖

Keywords: particulate phosphorus, sequential extraction, bioavailability, Lake Biwa

琵琶湖の流系と栄養塩環境

Currents and nutrient environment in Lake Biwa

*大久保 賢治¹、LE Huu^{1,2}、齋藤 光代¹

*Kenji Okubo¹, Huu Tien LE^{1,2}, Mitsuyo Saito¹

1.岡山大学大学院環境生命科学研究科、2.フエ大学

1.Graduate School of Environmental and Life Science, Okayama University, 2.Hue University of Agriculture and Forestry

日本最大の湖である琵琶湖においては、最近数十年間で水温の上昇傾向や富栄養化などの問題が顕在化している。本研究では、琵琶湖についてこれまで蓄積されてきた既存の観測データや著者らによる研究結果を踏まえ、琵琶湖の流系と栄養塩環境に関する議論・総括を行うことを目的とする。

平成の名水の微量元素分析による水質特性の評価と食品の起源分析への応用

The evaluation of the 100 best natural water sources in Hesei period by trace elements and application for the origin estimation of foods

*柳沢 直哉¹、笹本 なみ¹、阿部 善也¹、中井 泉¹

*Naoya Yanagisawa¹, Nami Sasamoto¹, Yoshinari Abe¹, IZUMI NAKAI¹

1.東京理科大学大学院 総合化学研究科

1.Tokyo University of Science Graduate School of Chemical Sciences and Technology

近年、食品の産地偽装や安全管理に関する事件が社会問題となっており、食品の産地や製造工程のトレーサビリティが求められている。当研究室では無機微量元素および同位体比による食品の産地判別技術の開発を進めており、穀物、野菜、日本酒を中心に多くの成果を挙げてきた。本研究では新たに天然水を対象とし、特に平成20年に環境省によって選定された「平成の名水百選¹⁾」に着目した。水は飲料用から農作物の生育まで幅広く用いられ、我々の生活に深く関わる重要な資源である。水資源中に溶存する微量元素をトレーサーとして用いて、農作物の産地判別を視野に、地質と関連付けた水の地域的特性化を試みた。

日本全国20地点（河川5地点、湧水15地点）にて、超純水および10%硝酸で洗浄済みのポリエチレン製容器を用いて現地にて採水を行い、約4℃の冷暗所で保存した。孔径0.45 μmメンブランフィルターによるろ過により沈殿物を除去し、分析試料とした。軽元素（Na, Mg, K, Ca, Si）の測定には誘導結合プラズマ発光分析装置（SPS3520UV）を用いて、その他の微量元素（Al, V, Mn, Ni, Cu, Zn, As, Rb, Sr, Mo, Ba, REE）の測定には四重極型誘導結合プラズマ質量分析装置（Agilent 7500c）を用いた。内標準元素として¹¹⁵Inを添加し、検量線法により20元素以上の濃度の定量を行った。

まず検出された各微量元素の由来に関して考察を行った。測定した元素のうちLiは、埼玉県、山梨県で採取された河川水試料で高濃度を示した。これは、神流川源流、金峰山源流では母岩がLiを多く含む花崗岩質であるためであると考えられる。一方で、Vは山梨県、静岡県試料において高濃度を示した。夏狩湧水（山梨）、湧玉池（静岡）はVを多く含む玄武岩が分布する地帯の湧水であり、長い年月をかけ雨や雪が地下に貯蓄される過程でVが多く溶け込んだと考えられる。同様に、源兵衛川（静岡）も上流に玄武岩が広く分布する相模川の水系であるために、V濃度が高くなったと考えられる。他の河川水、湧水試料では、その上流地質や帯水層付近の地質が花崗岩、玄武岩ではないために、こうした高濃度のLiおよびVは検出されなかった。Cuでは、群馬県、埼玉県の試料において高濃度を示した。群馬県の戸倉湧水、武尊湧水付近には鉱毒事件で知られる足尾銅山、埼玉県の毘沙門水、武甲山付近ではスカルン鉱床をもつ秩父鉱山が存在している。どちらも銅を多く採掘していた鉱山であることから、その影響が湧水の微量元素組成に顕著に表れていることが分かる。これら3元素の分布に関して、河川堆積物をもとに産業技術総合研究所によって作成された地球化学図¹⁾とも対応が見られた。したがって、これらの元素は採水地点の地質や環境状況を良く反映することから、本研究の目的である天然水的地域特性化における有用な指標となることが期待される。秋田県の獅子が鼻湿原の出壺水で採取した水からは、高濃度のAl, Mn, Znおよび希土類元素が検出された。本研究で分析した試料のpHの平均は湧水で7.2、河川水で7.8であるが、この試料では4.4と明らかにpHが低い。先行研究³⁻⁴⁾によって、湿地という特殊な環境の湧水、地下水では微生物の活動に伴う有機酸（フミン酸、フルボ酸）の増加によってpHが低下し、岩石や土壌中のAlや希土類元素が溶解しやすいという指摘があり、この湧水はこうした影響を受けているものと考えられる。

以上より、湧水や河川水中の微量元素組成は地質的背景を強く反映することが示された。今後はさらに試料数を拡充してより詳細な地域特性化を進め、農作物の産地判別への応用を目指す。

- 1) 藪崎志穂ら, 地下水学会誌, 51, 127-139 (2008).
- 2) 地球化学図 産業技術総合研究所地質調査総合センターHP <https://gbank.gsj.jp/geochemmap>
- 3) Aline Dia et al., *Geochemical et Cosmochimica Acta*, 64, 4131-4151 (2000).
- 4) Melanie Davranche et al., *Aquat Geochem*, 21, 197-215 (2015).

キーワード：水
Keywords: water

ベトナム北部を流れる紅河を通じたヒ素の挙動

Behavior of Arsenic in the Red River, Northern Vietnam

井上 凌¹、*益田 晴恵¹、米澤 剛²、Truong XuanLuang³、申 基澈⁴Ryo Inoue¹, *Harue Masuda¹, Go Yonezawa², XuanLuang Truong³, Ki-Cheol Shin⁴

1.大阪市立大学大学院理学研究科、2.大阪市立大学大学院創造都市研究科、3.ハノイ鉱山地質大学、4.総合地球環境学研究所

1.Graduate school of science,Osaka City University, 2.Graduate school for Creative Cities,Osaka City University, 3.Hanoi University of Mining Geology, 4.Research Institute for Humanity and Nature

試料は雨季（2013年7月26-8月4日）と乾季（2014年4月10日-21日）にベトナム領内の紅河本流及び支流から採取した。試料数は河川水試料（試料数は雨季：29、乾季：45）、堆積物試料（乾季：18）である。

紅河本流の河川水中総ヒ素濃度は雨季：1.4-9.1 µg/L、乾季：2.2-92.9 µg/Lであった。中国国境付近に位置する紅河本流の最上流地点はヒ素濃度は、雨季は9.1 µg/L、乾季は33.9 µg/Lであった。乾季の値はWHOの定める水質基準値（10.0 µg/L）の3倍以上もの濃度である。本流では雨季、乾季ともに河口に向かうにつれてヒ素濃度は減少する傾向にあり、下流域の紅河デルタ上では基準値を超える地点はなかった。紅河に流れ込む支流の総ヒ素濃度はどちらの時期も本流の濃度よりも低い範囲（雨季：0.2-1.6 µg/L、乾季：0.3-4.5 µg/L）にあり、本流は支流の流入により希釈されていた。河川水中では、ヒ素は溶存態または懸濁態として存在するが、本流では溶存態として存在するものが多い。その割合は、最上流地点で約50%と最低で、下流に向けて増加した。乾季と比べ、雨季はヒ素濃度が低く、豊富な基底流出水からなる支流によって希釈されていることが示唆された。

河床堆積物5試料のヒ素濃度は21.1と55.6 mg/kgを示した2試料を除いて、30.0~33.6 mg/kgであった。本流における河川水中総ヒ素濃度が下流に向けて濃度が低下していく傾向を持つことは異なり、ラオカイ周辺（30.0 mg/kg）と河口周辺（31.6 mg/kg）で大きな差は見られない。支流の堆積物のヒ素濃度は紅河本流で採取したものと比べて低く、最大でも12.8 mg/kgであった。

ヒ素は難溶態と易還元態（酸化的な環境下で溶出しやすい形態）で約80%を占めた。難溶態は下流に向け徐々に減少したが、一方で易還元態は徐々に増加した。易還元態にはヒ素含有有機物もあるかもしれないが不明である。

堆積物のヒ素濃度と鉛濃度には良い正の相関 ($R^2=0.92$) が見られた。2元素が同じ起源を持つと推定されることから、鉛同位体比をトレーサーとして用いることで、ヒ素の起源物質推定も可能である。堆積物(n=6)の鉛同位体比は $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=18.572\sim 18.766$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=15.727\sim 15.739$ であった。懸濁物の同位体比は乾季(n=1)： $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=17.611$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=15.586$ 、雨季(n=14)： $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=18.516\sim 18.667$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=15.701\sim 15.737$ であった。 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ と $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ の関係は、雨季の堆積物と乾季の懸濁物が同じ領域あることを示しており、懸濁物と堆積物の鉛の起源は概ね同じであると推定された。しかし乾季の堆積物が正の傾きを示すのに対して雨季の懸濁物は負の傾きを示した。雨季には支流からの流入量が増加することから本流の懸濁物とは異なる同位体比を持つ鉛を含んだ碎屑物が支流から供給されていると考えられる。また、紅河の源流が位置する中国雲南省で採取された鉱石（方鉛鉱、閃亜鉛鉱、黄鉄鉱）の鉛同位体比と堆積物の同位体比を比較した。乾季の堆積物の鉛同位体比は鉱石の同位体比分布の範囲の延長線上にあるが、同じではない。したがって、雲南省の鉱石は紅河のヒ素の主な起源ではない。

ベトナム領内に涵養域を持つ支流はヒ素濃度が低い。支流の流入によって本流のヒ素濃度が希釈されていた。また、支流の河床堆積物のヒ素濃度も低い。このため、紅河流域のヒ素の汚染源はベトナム領内にならず、もしくは存在しても小規模で環境に与える影響は小さい。また、河川水にはµg/Lオーダーでヒ素が含まれているのに対し、堆積物にはmg/kgオーダーで含まれている。よって、紅河のヒ素のほとんどは碎屑物中に存在しており、それらは上流域に位置する中国から運搬されてきた。

キーワード：紅河、ヒ素、鉛

Keywords: Red River, Arsenic, Lead

一級河川における河川-地下水交流が栄養塩分布に与える影響の評価～岡山県旭川を例に～
Evaluation of river water-groundwater interaction and its effect to nutrient variation in Asahi River, Okayama prefecture

*安田 香穂¹、小野寺 真一²、齋藤 光代³、丸山 豊²、友澤 裕介²

*Kaho Yasuda¹, Shin-ichi Onodera², Mitsuyo Saito³, YUTAKA MARUYAMA², Yusuke Tomozawa²

1.広島大学総合科学部、2.広島大学大学院総合科学研究科、3.岡山大学大学院環境生命科学研究科

1.Faculty of Integrated Arts and Sciences, Hiroshima University, 2.Graduate School of Integrated Arts and Sciences, Hiroshima University, 3.Graduate School of Environmental and Life Science, Okayama University

Recent researches have shown the evidence of interactions between river water and groundwater-these interactions have affected the nutrient distribution and dynamics during the discharging. Our objective is to identify the river/groundwater interactions and estimate the nutrient variations along the river Asahi. Research field is located in the River Asahi of Okayama prefecture, western Japan. River water samples were collected from 50 sites along the River Asahi. Stable isotope of Radon (²²²Rn) and nutrient concentration were analyzed in Hiroshima University. Seasonal variations of data were arranged in this research (February, June, and November, 2015)

Seasonal variations data shows radon(²²²Rn)concentration was highest in summer(June, 2015), suggesting the high percentage of groundwater contribution in summer. It probably because large quantities of irrigation decreased the river water level in summer, groundwater discharge to river water increased than in other seasons. On the other hand, radon tends to increase release ability with temperature increasing.

The spatial pattern of Radon(²²²Rn) distribution decreased from upstream to downstream in all seasons.

The results of nutrient showing that dissolved silica concentrations increased from February to November, suggesting the groundwater discharge increased from February to November. However, phosphorus concentrations were highest in June. Nitrogen concentration didn't show any variations throughout the research seasons.

In the last, we calculated and evaluated the nutrient contribution from river water/groundwater interaction processes in Asahi River based on the above data. Silica variations were mainly controlled by groundwater contributions. The ratio of silica supplied by groundwater was up to 60%. However, phosphorus variations were controlled by river water (surface water and tributaries). The ratio of phosphorus supplied by river water was up to 90%. Nitrogen variations were controlled by groundwater, as the disturbance of denitrification and biological turbulence, nitrogen concentration was lower than the estimated values. In nutrient cycle processes, nitrogen is considered to be supplied mostly from human activities however our results suggest another important nutrient pathway thorough water circulation. In Asahi River, nitrogen is dominant from groundwater, and river/groundwater interactions purify the nitrogen concentration.

In future, we will increase the research area from main stream to tributaries, in order to better evaluate the effect of river/groundwater interaction on nutrient dynamic.

キーワード：ラドン、河川-地下水交流、栄養塩

Keywords: ²²²Rn, river water/groundwater interaction, nutrients

土壤水分中の NO_3^- の移動速度推測と地下水への影響——生口島を例として

The migration of nitrate and possible impacts on groundwater of Ikuchi Island, Japan

*白 佳卉¹、小野寺 真一¹、金 广哲¹、友澤 裕介¹、有富 大樹¹*JIAHUI BAI¹, Shin-ichi Onodera¹, Guangzhe Jin¹, Yusuke Tomozawa¹, Daiki Aritomi¹

1. 広島大学総合科学研究科

1. Graduate School of Integrated Art and Science

Nitrogen is one of major elements for crops, which directly affects the production of agricultural. However, excessive application of nitrogen fertilizers can lead to a variety of environmental issues. Therefore, it's important to investigate the mechanisms and magnitude of nitrogen migration.

Ikuchi Island located in Seto Inland Sea, is one of the most famous orange and lemon production areas in Japan. Orange and lemon groves cover 42% of this island. To maintain and improve the yields, much fertilizer ($\sim 2400 \text{ kg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$) is applied during a whole year and nitrate contamination in this island was very serious (Onodera, et al., 2007). In order to evaluate the spatial and temporal variations of $\text{NO}_3\text{-N}$ in soil water, several observation wells with different depth (10cm, 30cm, 50cm, 70cm) were installed in one square meter of space of one orchard in Ikuchi Island. 1000ppm of $\text{KNO}_3\text{-NO}_3$ and NaCl-Cl mixtures were shed on the surface of this one square meter of space in August 20th, 2015. After that, water samples were collected from these wells every two weeks and analyzed for $\text{NO}_3\text{-N}$, Cl.

The results showed that the highest concentrations of $\text{NO}_3\text{-N}$ in 10cm and 30cm, 50cm and 70cm were occurred in August 30th, 2015, the second water sampling time and September 15th, 2015, the third water sampling time, respectively. In addition, the peak value of concentrations of $\text{NO}_3\text{-N}$ decreased with the increase of soil depths except 10cm. This may attributed to the fact that the interval time between the first and second water sampling was 10 days, the peak value of $\text{NO}_3\text{-N}$ may have passed before we took water samples. From the relationship between the C_N/C_{Cl} (the ratio of concentration of $\text{NO}_3\text{-N}$ and NaCl-Cl) and time, we found that the value of C_N/C_{Cl} from 10 cm to 30cm decreased very rapidly. Moreover, it's easier to collect water from 30cm than other depths, which may imply that place near to 30cm may be the most humid locations. Therefore, denitrification may take place in the depth from 10 to 30cm, resulting in the decline of $\text{NO}_3\text{-N}$ concentration. The migration rates of $\text{NO}_3\text{-N}$ in soil water were estimated to be about 3.0cm/day and 2.5 cm/day in the depth from 0cm to 30cm and 30cm to 70cm. The groundwater level is about one meter in this area, NO_3^- would migrate into groundwater about 24 days later after 1000 ppm nitrate fertilizer was applied.

キーワード：窒素、移動、生口島、脱窒

Keywords: Nitrogen, migration, Ikuchi Island, denitrification

Assessment of the spatial distribution of submarine groundwater and associated nutrients discharge along the Ikuchi Island coastline, Seto Inland Sea, Japan

*Aiping Zhu¹, Shin-ichi Onodera¹, Yuta Shimizu², Mitsuyo Saito³, Guangzhe Jin¹

1. Graduate School of Integrated and Arts Sciences, Hiroshima University, 2. National Agriculture and Food Research Organization, Western Region Agricultural Research Center, 3. Graduate School of Environmental and Life Science, Okayama University

Ikuchi Island located in the central Seto Inland Sea, is an example of a classic oceanic island with no large rivers, high shoreline-to-land area ratio and steep topography. Due to small annual precipitation (1100mm) with large inter-annual variation, the island faces a risk of water shortage, especially in dry seasons. As an alternative water resource, submarine groundwater discharge (SGD) could potentially substitute as a water supply for irrigation. Estimation of SGD along the coastline is therefore crucial to develop a sustainable water management plan for people living in the island. What's more, Onodera et al. (2007) found that nitrate contamination of groundwater in Ikuchi Island was very serious, thus, the spatial distribution of SGD and associated nutrient fluxes along the shoreline of Ikuchi Island may also be important for reducing the occurrence of eutrophication in Seto Inland Sea.

To analyze the spatial distribution of SGD and associated nutrients, we performed a continuous ²²²Rn and conductivity (EC) monitoring survey on a boat along the shoreline during December 22th, 2015. The total SGD flux was estimated to be $8.60 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ yr}^{-1}$ based on the ²²²Rn mass balance, which was in reasonable agreement with results obtained from the Darcy's law ($8.53 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ yr}^{-1}$) and water balance calculation ($8.55 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ yr}^{-1}$). A strong pattern in the spatial distribution of SGD was observed, with the highest values ($>2.5 \text{ cm d}^{-1}$) located along the western part of the island due to the steepest topography and much lower population. The results from a nutrient analysis of the groundwater indicated that the associated nutrient fluxes loading through the SGD pathway were 109.6×10^6 , 2.980×10^6 , and $439.8 \times 10^6 \text{ g yr}^{-1}$ for DIN, DIP and DSi, respectively, which were comparable to or even higher than the levels observed in the local streams. Therefore, adequate attention should be paid to the importance of SGD as one source of nutrients during the eutrophication controls process in this area.

Keywords: Submarine groundwater discharge (SGD), Radon, Nutrients , Ikuchi Island

岡山平野における地下水の水質分布と流動特性

Properties of water quality and groundwater flow in Okayama plain

*友澤 裕介¹、小野寺 真一¹、齋藤 光代²、北岡 豪一⁴、山口 一裕³

*Yusuke Tomozawa¹, Shin-ichi Onodera¹, Mitsuyo Saito², Koichi Kitaoka⁴, Kazuhiro Yamaguchi³

1.広島大学大学院総合科学研究科、2.岡山大学大学院環境生命科学研究科、3.岡山理科大学理学部基礎理学科、4.岡山理科大学

1.Graduate School of Integrated Arts and Sciences Hiroshima University, 2.Graduate School of Environmental and Life Science, Okayama University, 3.Department of Applied Science, Okayama University of Science, 4.Okayama University of Science

沿岸沖積平野は、その堆積構造から平野上流側では河川水の優先的な地下水涵養を受け、その豊富な水量は被圧地下水を含め多様に利用されてきた。しかし、適切な管理が行われない中の過剰な使用によって水圧の低下が生じ、海水の侵入などの塩水化も引き起こされてきた。このように、現在の沖積平野の水質特性を明らかにすることは、現在の地下水流動環境やその平野の脆弱性を評価できることになる。本研究では、岡山平野を対象として、平野南部に設けた観測井戸より採水した水試料の化学成分及び酸素・水素同位体等の分析を行い、地下水流動特性を推察した。

地下水の無機イオン成分組成として、平野の上流側から海岸線付近まで、Ca-HCO₃型から、Na-HCO₃型、Na-Cl型への3パターンへの遷移が確認できた。特に、上流側の浅層地下水は平野の主河川である旭川の組成とほぼ同じであり、旭川の水が優先して涵養していることが確認できた。一方で、海岸線の地下水は、塩水化していて海水の20%程度の混入が明らかになった。さらに、中間地点では水素 - 酸素同位体比がそれぞれ川や海水とは異なる値を示し、涵養過程の異なる流動系が推察された。

西日本の閉鎖性湾における過去1万年間の生物地球化学過程の変動

Last 10,000 years variation of biogeochemical process in enclosed bay of a western Japan

*小野寺 真一¹、金 広哲¹、竹内 徹²、齋藤 光代³、北岡 豪一⁴、山口 一裕⁴*Shin-ichi Onodera¹, Guangzhe Jin¹, Toru Takeuchi², Mitsuyo Saito³, Koichi Kitaoka⁴, Kazuhiro Yamaguchi⁴

1.広島大学大学院総合科学研究科、2.フジタ地質株式会社、3.岡山大学、4.岡山理科大学

1.Graduate School of Integrated and Arts Sciences, Hiroshima University, 2.Fujita Geology Ltd.,

3.Okayama University, 4.Okayama University of Science

本研究では、閉鎖性海域である瀬戸内海において、さらに奥に位置する岡山県児島湾を対象して、平野の堆積物中の炭素、窒素、リンの分布結果を基に、過去1万年間の生物地球化学過程を紐解くことを目的とした。8000年前までの温暖化時期には、激しい堆積速度が確認され、一方、縄文海進期まで海面が上昇すると、堆積速度は低下した。これは土砂供給減の源流域での土砂生産量の低下によるものと考えられる。一方、この時期に至るまでの土砂供給期に大量のリンの生産も確認でき、さらに、炭素、窒素の安定同位体比の上昇も確認できた。縄文海進期ピーク以降の寒冷化時期には、リンの供給のさらなる減少とともに、炭素窒素安定同位体比の値も低下する傾向がみられた。

キーワード：栄養塩、閉鎖性海域、温暖化、1万年間

Keywords: nutrient, enclosed bay, warming, last 10,000 years

地熱水域の熱収支と周辺湖沼への影響評価：倶多楽火山・北海道

Heat budget of hydrothermal ponds and its relation to geothermal flux in a neighboring deep lake: Kuttara Volcano, Hokkaido, Japan

*知北 和久¹、芝田 大輝²

*Kazuhisa Chikita¹, Taiki Shibata²

1.北海道大学大学院理学研究院地球惑星科学部門、2.北海道大学理学部地球惑星科学科

1.Department of Earth and Planetary Sciences, Faculty of Science, Hokkaido University, 2.Department of Earth and Planetary Sciences, School of Science, Hokkaido University

北海道・倶多楽火山の地殻熱活動を調べるため、登別温泉にある三つの湯沼（大湯沼、奥の湯、沸騰泉池）の熱収支を調べ、隣接するカルデラ深湖・倶多楽湖における熱流量との関係を調べた。2013-2015年の観測から、平均地下熱流量は2.8 kW/m²（大湯沼）、22.0 kW/m²（奥の湯）and 32.0 kW/m²（沸騰泉池）と与えられた。他方、この間、倶多楽湖最深点(148 m)で温度成層期に水温と25℃電導度EC25との上昇が認められ、その地下熱流量0.50 - 9.3 W/m²と評価された。2013-2015年の長期変動を見ると、奥の湯の地下熱流量と倶多楽湖の地下熱流量との間には、平均5ヶ月のタイムラグが認められた。MT法による地下探査では、倶多楽湖の地下100 mに熱水貯留層が存在する。このことから、この貯留層より深部に湯沼・倶多楽湖に共通の熱水系があり、これに対する応答の違いが両者に現れていると判断される。

キーワード：地下熱水系、地下熱流量、火山活動

Keywords: hydrothermal flow system, geothermal heat flux, volcanic activity