

## 異なる立地環境における森林土壌中の水と溶存物質の動態 Water and solute dynamics in soils under different environments

小林 政広<sup>1\*</sup>, 吉永秀一郎<sup>2</sup>, 伊藤優子<sup>1</sup>  
KOBAYASHI, Masahiro<sup>1\*</sup>, S. Yoshinaga<sup>2</sup>, Y. Itoh<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 森林総合研究所, <sup>2</sup> 森林総合研究所九州支所

<sup>1</sup>Forestry and Forest Products Research Institute, <sup>2</sup>Kyushu Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute

### 1. はじめに

流域の最上部に位置する森林には、下流に清浄な水を安定して供給する機能が求められている。森林から流出する渓流水の水質は、雨水が地中を移動する間に様々な化学的・生物学的プロセスの影響を受けて形成される。特に、立地環境の影響を受ける土壌中のプロセスは水質形成において重要であり、これを理解するためには土壌中を移動する水と物質の量を測定することが必要である。本研究では、異なる立地環境下の森林を対象にライシメータを用いた土壌水の採取を行い、土壌中の水と溶存物質の移動量を明らかにした。

### 2. 研究方法

観測は茨城県城里町に位置する桂試験地および茨城県石岡市に位置する筑波共同試験地で行った。両試験地とも、土壌は火山灰を母材とする褐色森林土である。林内雨による窒素流入量は、桂試験地で  $10 \text{ kg ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$  以下、筑波共同試験地では  $10 \sim 20 \text{ kg ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$  であり、後者で多い。桂試験地の斜面下部のスギ林および斜面上部の落葉広葉樹林、筑波共同試験地の斜面下部のスギ林および斜面上部のヒノキ林に観測プロットを設置し、林内雨、 $A_0$  層通過水、土壌水を採取した。林内雨はポリエチレン製のロートとタンクよりなる採取装置で採取した。 $A_0$  層通過水は、堆積有機物直下に挿入したテンションフリーライシメータで採取した。土壌水は、深度 30cm および深度 100cm 付近に埋設した直径 27cm のセラミックプレートと自動制御の吸引・貯留部から構成されるテンションライシメータを用いて採取した。水試料は、メンブレンフィルター（孔径  $0.45 \mu\text{m}$ ）でろ過し、イオンクロマトグラフ法および ICP 発光分光法により主要溶存成分濃度を測定した。また、全有機体炭素計により溶存有機炭素（DOC）濃度を測定した。

### 3. 結果と考察

年間の土壌水の移動量は、斜面上部では桂試験地、筑波共同試験地とも林内雨量より 300mm 前後少なく、斜面下部では両試験地とも林内雨量と同等かそれを上回る値となった。斜面上部では樹木根による吸水の影響がそのまま現れたものと考えられる。これに対して斜面下部では、樹木根による吸水があるものの、斜面上部からの水移動がこれを打ち消す程度に生じていることが推察された。なお、桂試験地の落葉広葉樹林では、冬の落葉期には林内雨量と水移動量がほぼ同じ値であった。 $A_0$  層通過水の年間の窒素移動量に占める硝酸態窒素の割合は、斜面上部では桂試験地、筑波共同試験地とも 7 割程度であったが、斜面下部では両試験地とも 9 割を超えた。斜面下部の湿潤な環境下では硝化が生じやすいことの反映と考えられる。深度 100cm 付近の硝酸態窒素移動量は、桂試験地では斜面上部、下部ともゼロに近い値であったが、筑波共同試験地では斜面上部、下部とも  $40 \text{ kg ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$  を上回った。筑波共同試験地では、大気からの窒素流入量が多く、生態系が必要な窒素の量を上回り「窒素飽和」の状態にあるためと考えられる。多量の硝酸の存在により、筑波共同試験地の斜面下部では、桂試験地の斜面下部の約 2 倍の Ca イオンが溶脱し、桂試験地ではほとんど検出されない Al の移動も生じていた。

キーワード: 森林土壌, 水, 溶存物質, 立地環境

Keywords: Forest soil, water, solute, site environment

## 西南日本の複雑地形地人工林小流域を対象とした森林蒸発散量の評価手法について Comparison of evapotranspiration obtained through multiple observation methods from a planted forest on complex terrain

清水 貴範<sup>1\*</sup>, 熊谷朝臣<sup>2</sup>, 小林政広<sup>1</sup>, 飯田真一<sup>1</sup>, 井川怜欧<sup>4</sup>, 玉井幸治<sup>1</sup>, 清水晃<sup>3</sup>

SHIMIZU, Takanori<sup>1\*</sup>, Tomo'omi Kumagai<sup>2</sup>, Masahiro Komayashi<sup>1</sup>, Shin'ichi Iida<sup>1</sup>, Reo Ikawa<sup>4</sup>, Koji Tamai<sup>1</sup>, Akira Shimizu<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 森林総合研究所, <sup>2</sup> 名古屋大学地球水循環研究センター, <sup>3</sup> 森林総合研究所, <sup>4</sup> 産業技術総合研究所

<sup>1</sup>Forestry and Forest Products Research Institute, <sup>2</sup>Hydrospheric Atmospheric Research Center, Nagoya University, <sup>3</sup>Kyushu Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute, <sup>4</sup>National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

我が国の国土の18%はスギ・ヒノキ植栽木を主体とした人工林が占有している。その多くは複雑地形上に生育しており、さらにパッチ状に植栽されているため、こうした森林からの蒸発散量を単一の手法で精度良く定量化することは困難であると考えられる。そこで、九州北部に位置する人工林小流域を対象に、水文・微気象および樹木蒸散量などの観測を行い、複雑地形地森林において蒸発散量を定量化する際の手法の比較検討を試みることにした。

観測地は熊本県山鹿市に設定した鹿北流域試験地 (KHEW) である。観測地周辺は谷筋から斜面中腹にスギ、斜面上部から尾根にはヒノキが植栽されている人工林である。面積 2.63ha および 3.69ha の2つの流域の末端に設置した流量堰から水流出量を測定し、流域近辺の林道沿いで降雨量観測を行った。より面積の小さい方の流域の中央部には高さ 50m の観測タワーを設置し、クロードパス分析計による水蒸気フラックスの測定を行った。さらに、流域内で斜面位置が異なる複数のスギ林分プロットを設け、グラニエ法に樹液流速測定を行った。また、大径スギ・中径スギ・ヒノキ林分の3地点で樹冠遮断雨量の観測を行った。2007年 - 2008年に取得したこれらのデータを解析の対象とした。

2007年の降雨量は1956.5mmであり、中径スギ林分プロットでの樹冠遮断量は435.3mmであった。また、2流域の年流出量は10%程度異なったが、これは基岩層の傾斜方向が表面地形に一致しないために、より小さい方の流域で漏水が生じている可能性が高いためであると考えられた。また、上層木の単位地表面積当たりの蒸散量は斜面位置で異なるが、上部斜面で繁茂している下層植生の蒸散がこの差を補償する可能性があると考えられた。一方水蒸気フラックスの純放射量に対する比率は、観測タワーに対して南風になる場合と北風になる場合で著しい差があり、これは南風側の斜面が急傾斜で、且つスギ林分に比較して生育状況の良くないヒノキ林分の影響を受けやすいことが原因となっている可能性が高いと考えられた。発表ではこれらの事象を比較検討し、年間の蒸発散量や流域水収支について考察を行う予定である。

キーワード: 人工林小流域, 複雑地形地, 蒸発散量, 降雨-流出, 水蒸気フラックス, 樹液流速測定

Keywords: Planted Coniferous forest, Complex terrain, Evapotranspiration, Rainfall-runoff, Latent heat flux, Sap flux measurement

## 森林土壌における脱窒に関わる微生物群集構成：脱窒機能遺伝子による把握 Community structures and activity of denitrifying microbes in forested catchment: survey using nitrite reductase genes

青木麻耶<sup>1</sup>, 大手 信人<sup>1\*</sup>, 勝山千恵<sup>2</sup>, 諏訪裕一<sup>2</sup>, 丹下健<sup>1</sup>

Maya Aoki<sup>1</sup>, OHTE, Nobuhito<sup>1\*</sup>, Chie Katsuyama<sup>2</sup>, Yuichi Suwa<sup>2</sup>, Takeshi Tange<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京大学大学院農学生命科学研究科, <sup>2</sup> 中央大学理工学部

<sup>1</sup> Graduate School of Agr. and Life Sci. University of Tokyo, <sup>2</sup> Faculty of Science and Engineering

To elucidate the mechanisms of denitrification processes in the forested catchment, microbial ecological approaches have been applied in an experimental watershed that has previously investigated its hydrological processes. The study catchment is located in the Chiba prefecture in central Japan under the temperate Asian monsoon climate. Potential activities of denitrification of soil samples were measured by incubation experiments under anoxic condition associated with  $\text{Na}^{15}\text{NO}_3$  addition. Existence and variety of microbes having nitrite reductase genes were investigated by PCR amplification, cloning and sequencings of nirK and nirS fragments after DNA extraction. Contrary to our early expectation that the potential denitrification activity was higher at deeper soil horizon with consistent groundwater residence than that in the surface soil, denitrification potential was higher in shallower soil horizons than deeper soils. This suggested that the deficiency of  $\text{NO}_3^-$  as a respiratory substrate for denitrifier occurred in deeper soils especially in the summer. However, high denitrification activity and presence of microbes having nirK and nirS in surface soils usually under aerobic condition was explainable by the fact that the majority of denitrifying bacteria have been recognized as a facultative anaerobic bacterium. This also suggests the possibility of that denitrification occurs even in the surface soils if the wet condition is provided by rainwater during and after a storm event. Community structures of microbes having nirK were different between near surface and deeper soil horizons, and ones having nirS was different between saturated zone (under groundwater table) and unsaturated soil horizons. These imply that microbial communities with nirK are sensitive to the concentration of soil organic matters and ones with nirS is sensitive to soil moisture contents.

キーワード: 森林土壌, 脱窒, 微生物群集, 機能遺伝子

Keywords: forest soil, denitrification, microbial community, functional gene

## 異なる浅層地下水中の脱窒速度 Denitrification rates in different shallow aquifers

江口 定夫<sup>1\*</sup>

EGUCHI, Sadao<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 農業環境技術研究所

<sup>1</sup>National institute for Agro-Environmental Sciences

浅層地下水中の脱窒速度は、帯水層の水文地質環境と土地利用条件に強く依存する。本発表では、異なる水文地質環境と土地利用条件下における浅層地下水中の脱窒速度を整理すると共に、その簡易モデル化を検討する。

キーワード: 脱窒, 浅層地下水帯

Keywords: denitrification, shallow aquifer

## 鳥取砂丘における地下水の湧出メカニズムと水文地質構造

### Groundwater discharge mechanism and hydro- geological structure in Tottori sand dune

河合 隆行<sup>1\*</sup>, 齊藤忠臣<sup>2</sup>, 金久研也<sup>2</sup>, 糟谷哲史<sup>2</sup>, 塩崎一郎<sup>3</sup>, 多田泰之<sup>4</sup>

KAWAI, Takayuki<sup>1\*</sup>, SAITO Tadaomi<sup>2</sup>, KANEHISA Kenya<sup>2</sup>, KASUYA Satoshi<sup>2</sup>, SHIOZAKI Ichiro<sup>3</sup>, TADA Yasuyuki<sup>4</sup>

<sup>1</sup>鳥取大学 産学・地域連携推進機構, <sup>2</sup>鳥取大学 農学部, <sup>3</sup>鳥取大学大学院 工学研究科, <sup>4</sup>森林総合研究所

<sup>1</sup>Regional Industrial Academic Cooperation, Tottori University, <sup>2</sup>Faculty of Agriculture, Tottori University, <sup>3</sup>Graduate School of Engineering, Tottori University, <sup>4</sup>Forestry and Forest Products Research Institute

#### 1. はじめに

山陰海岸国立公園に位置する鳥取砂丘は、世界的にも貴重な自然景観として2010年に世界ジオパークに登録された。一方で、国立公園特別保護区および天然記念物として厳重に管理されてきたため、地質等を含む砂丘内の自然現象については科学的解明が進んでいない。その砂丘内にはオアシスと呼ばれる非恒常性の小水域が存在しており、発生・消滅を繰り返している。オアシスは砂丘の自然景観を形成する因子として貴重な役割を担っており、如何なるメカニズムで発生・消滅しているのかは古くからの学術的関心である。このオアシスの近くには、常に地下水が湧出している地点がある。この湧水はオアシス方面へと流下しているため、オアシスの形成に大きく影響を与えられていると考えられている。しかし、砂丘内にはこの湧水以外にも様々な規模の湧水点を確認されており、これらの湧水もオアシス形成に影響を与えている可能性は否定できない。そこで本研究では、砂丘の地下水・湧水の面的な水質特性と、深度10m付近までの浅層の水文地質構造探査を用いてオアシス形成のメカニズムを解明する。なお、国立公園特別保護区および天然記念物である鳥取砂丘内での地質調査は、環境省からの許可を得ている。

#### 2. 研究方法

地下水位分布について、2011年9月にオアシス周辺100m×300mの範囲で測定を行った。約20m間隔で水位観測用の縦孔を76本掘削し、孔内発生水位を測定した。

湧水の水質として、酸素安定同位体比、水温、電気伝導度、pHを測定した。測定地点は、2ヶ月以上連続して湧水が確認できた3地点(A-1,2,3と呼称)、大きな降水後に湧出し2ヶ月未満で消滅する6地点(B-1~6と呼称)の計9地点である。なお、この中で最大の湧水点がおアシスに向かって河川形状を作っているA-1地点である。

同位体比測定のためのサンプリングは降水量に応じて毎日から隔日で行い、同位体比質量分析計を用いて分析した。水温は月に1回、EC、pHは水の同位体比測定後のサンプルを使用し測定した。降水量測定および降水サンプルの採取は、湧水を採取した地点から約1km離れた鳥取大学乾燥地研究センターにて実施し、全ての日降水量の同位体比および電気伝導度、pH測定を行った。水質の測定期間は2010年12月から2011年11月である。

地質構造探査には二次元比抵抗映像法を用いた。電極に銀-塩化銀の非分極電極を用い、電極間隔を1mに設定して深度約10mまでの探査を実施した。測定期間は2010年12月である。

#### 3. 結果と考察

地下水位分布調査の結果、地下水面は地表面下0.2-2.8mという浅層部に存在していることが明らかになった。また、測定域内の地下水面形状には分水界が形成されており、東部と西部で流向方向が異なっていた。なお、地形面には分水界は存在せず、西から東へなだらかに下方傾斜している。この東部の地下水流域にはオアシスが形成され、流域内には湧水A-1、湧水B-1,2の計3地点の湧水地点が含まれる。残りの6地点の湧水は西部の地下水流域内に存在し、オアシス形成にはほとんど寄与していないと考えられる。水温、電気伝導度、pHの結果から、2ヶ月以上連続して湧水が確認できるA-1,2地点は毎回の降水イベントの影響をあまり受けておらず、地下水の滞留時間が相対的に長いことが示された。その他の地点は、各測定値が直前の降水イベントの値に左右されているため、相対的に滞留時間は短いと考えられる。酸素安定同位体比の結果から、オアシス水の増減と近似した値を示したのはB-1地点の湧水であることが明らかになった。B-1は湧水の中では一番東部に位置し、降水量が減ると消滅する湧水点であるが、この地点を通過する地下水がオアシス形成に大きく寄与していると考えられる。なお、通年かつ最大の湧出量であるA-1地点は、オアシスの発生については強い関連性が見られなかった。比抵抗モデルの結果から水文地質境界を推定した結果、地表面から1-3mの深度に、比抵抗が200以下の低比抵抗の物質が堆積していることが明らかになった。今回検出された低比抵抗物質は大山倉吉層に代表される火山灰層と考えられる。また、この火山灰層は測定地点東部ほど深くに位置し、西部ほど浅くほぼ地表面付近に堆積していた。このことは、東部域において砂帯水層が相対的に厚く存在することが可能であることを意味している。これは、安定同位体比の結果から明らかになった東部の地下水ほどオアシス発生へ寄与をする、という現象を裏付けている。

キーワード: 地下水湧出, 鳥取砂丘, 酸素安定同位体比, 比抵抗映像法探査

Keywords: Groundwater discharge, Tottori sand dune, Oxygen Isotope Ratio, Resistivity tomography

## ユーカリ林周辺の水と栄養塩の動態

### Water and Nutrients Dynamics in and around Eucalyptus Forests

田瀬 則雄<sup>1\*</sup>, 小野寺 真一<sup>2</sup>, 山中 勤<sup>1</sup>, 田村 憲司<sup>1</sup>, 瀧澤 紗史<sup>1</sup>, 仁平 尊明<sup>3</sup>, 林 久喜<sup>1</sup>, ヒラタ ヒカルド<sup>4</sup>, サライバ フェルナンド<sup>4</sup>, テラダ ハファエル<sup>4</sup>, シロタ ヒカルド<sup>4</sup>  
TASE, Norio<sup>1\*</sup>, ONODERA, Shin-ichi<sup>2</sup>, YAMANAKA, Tsutomu<sup>1</sup>, TAMURA, Kenji<sup>1</sup>, TAKIZAWA, Sachika<sup>1</sup>, NIHEI, Takaaki<sup>3</sup>, HAYASHI, Hisayoshi<sup>1</sup>, HIRATA, Richardo<sup>4</sup>, SARAIBA, Fernando<sup>4</sup>, TERADA, Rafaeru<sup>4</sup>, SHIROTA, Ricardo<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 筑波大学, <sup>2</sup> 広島大学, <sup>3</sup> 北海道大学, <sup>4</sup> サンパウロ大学

<sup>1</sup>University of Tsukuba, <sup>2</sup>Hiroshima University, <sup>3</sup>Hokkaido University, <sup>4</sup>University of Sao Paulo

成長速度が著しく速いユーカリの植林が世界の多くの地域で行われ、ブラジルでは、南東部を中心に 350 万 ha、国土の 0.6 % がすでにユーカリ林となっており、世界最大のユーカリ植林国となっている。ユーカリの木材資源としての有用性は高いが、環境への悪影響 - 水・栄養塩消費、多様性破壊、発生有害物質などが懸念され、オーストラリアなどの半乾燥地では弊害が出ているところもあるが、ブラジルではこれらの問題がほとんど顕在化していない(桜井、1996)。一方、ブラジル南東部はトウモロコシやサトウキビの主要産地で、農地での施肥による地下水の硝酸性窒素汚染が顕在化しつつあるとともに、近年強度の激しい降雨頻度が増加する傾向にともない畑地からの土壌侵食・流亡も深刻である。本研究は、ユーカリ林の環境・生態学的悪影響などが顕在化していない科学的根拠と影響発現の閾値(条件)を現地調査と文献で行いながら、ユーカリの特性を利用し、農地からの栄養塩溶脱による地下水汚染とサトウキビやトウモロコシの大規模耕作による土壌侵食の防止などを、ユーカリ林の植林地の配置 - 土地利用連鎖系 -、営農方法の最適化により構築することを目的としている。今回は予備調査の結果について報告する。

研究対象地域として、サトウキビ畑とユーカリ林が隣接し、地下水面が浅いサンパウロ州の Rio Claro 市郊外と Anhembi 近郊の Mandacaru の 2ヶ所を選定した。調査地一帯は風成のシルト質砂層からなる標高 500 ~ 600 m の波状の準平原で、Piracicaba での年平均気温は 21.4℃、年降水量は 1279mm である。2011 年については、気温は平年並みであったが、降水量は平年より 300mm も多かった。両サイトとも上流側にサトウキビ畑が存在し、下流側にユーカリが植林され、その樹齢はおよそ 4 年(通常 7 年で伐採)、樹高は 15m 程度である。両地点に 100m x 200m の範囲で、3 ~ 8m ほどの地下水観測井網を掘削し、地下水位、水質を分析し、表層土壌の理化学特性を分析した。また、周辺地域で、湧水、井戸水、河川水なども採水・分析した。サトウキビ畑では施肥による地下水中の硝酸性窒素濃度の上昇、耕作による表土の流亡などが認められたが、ユーカリ林では硝酸性窒素濃度は低く、土壌は保全されていた。ユーカリ林による吸収の効果については今後評価する予定である。また、農耕地が広がる周辺地域の湧水や井戸水の水質は概して良好であった。

今後、より詳細な調査解析や聞き取りを行い、実態の解明と共に、持続可能な営農方法を検討したい。なお、本調査は科研費基盤研究 B (海外調査)により実施している。

キーワード: ユーカリ, 土地利用連鎖系, 環境保全, 地下水汚染, サンパウロ, ブラジル

Keywords: eucalyptus, land-use sequences, environmental conservation, groundwater contamination, Sao Paulo, Brazil

## 地下水中の地質由来の溶存成分と滞留時間の関係

### Relationship between Geogenic Solute Concentration and Residence Time in Groundwaters

中屋 眞司<sup>1\*</sup>, 青木秀斗<sup>1</sup>, ファン・ホアン・ミン・ハ<sup>1</sup>, 岩井慶貴<sup>1</sup>, 伊東章裕<sup>1</sup>, 中野 孝教<sup>2</sup>, 益田 晴恵<sup>3</sup>, 前田 俊介<sup>3</sup>, 岡林 克樹<sup>3</sup>, アシュラフ・セディーク<sup>4</sup>, 森川 徳敏<sup>5</sup>, 安元 純<sup>6</sup>, 中野拓治<sup>6</sup>

NAKAYA, Shinji<sup>1\*</sup>, Hideto Aoki<sup>1</sup>, Phan Hoang Minh Ha<sup>1</sup>, Akihiro Itoh<sup>1</sup>, NAKANO, Takanori<sup>2</sup>, MASUDA, Harue<sup>3</sup>, MAEDA, Shunsuke<sup>3</sup>, OKABAYASHI, Katsuki<sup>3</sup>, Ashraf A. Seddique<sup>4</sup>, MORIKAWA, Noritoshi<sup>5</sup>, YASUMOTO, Jun<sup>6</sup>, Takuji Nakano<sup>6</sup>

<sup>1</sup> 信州大学, <sup>2</sup> 総合地球環境学研究所, <sup>3</sup> 大阪市立大学, <sup>4</sup> ジェソール科学技術大学, <sup>5</sup> 産業技術総合研究所, <sup>6</sup> 琉球大学  
<sup>1</sup>Shinshu University, <sup>2</sup>Research Institute for Humanity and Nature, <sup>3</sup>Osaka City University, <sup>4</sup>Jessore Science & Technology University, <sup>5</sup>Geological Survey of Japan, AIST, <sup>6</sup>University of the Ryukyus

循環する地下水中の鉱物の溶解スピードを見積もることは、岩石の風化や、地質由来の汚染物質の生成と蓄積を評価するのに重要かもしれない。本研究では、飲料水として利用されている八ヶ岳第四紀火山岩分布地域の湧水と井戸水の滞留時間と SiO<sub>2</sub> 濃度の関係、農業用水や生活用水として利用されている沖縄南端の琉球石灰岩分布地域の湧水と井戸水の滞留時間と Ca 濃度の関係、飲料水として使われているバングラデッシュの沖積層の井戸水の滞留時間と As 濃度の関係について調べた。

八ヶ岳の火山岩分布地域では、地下水の滞留時間は 15 年～50 年にある。実流速の分布は概ね 100～500m/y の範囲と見積もられる。SiO<sub>2</sub> の濃度と滞留時間は直線関係にあり、その傾きは流域によってバラツキを持ち、0.45-2.8mg/L/y の範囲にあった。このことは、最近の 50 年間も各流域毎に、一定の速度で風化が進行していることを示唆している。沖縄石灰岩分布地域では、地下水の滞留時間は 15 年～30 年にある。石灰岩の分解によって生成された Ca と滞留時間も直線関係にあるが、4.3-8.0mg/L/y とバラツキを持って見積もられる。このことは、石灰岩の溶解が最近の 30 年間にバラツキを持った速度で続いていることを示唆している。このバラツキは石灰岩の水理地質構造の不均質性により生じる流速のばらつきの影響を反映したものかもしれない。さらに、バングラデッシュの地下水 As ホットスポット(ハリハルディ村)では、1970-1980 年間に涵養した地下水にリリースした As 濃度と滞留時間は直線関係にあり、26-37 μg/L/y と見積もられる。これは、場所は異なるが、バングラデッシュの沖積層の地下水中の As について Stute et al.(2007) が報告した 19-23 μg/L/y より大きい。このことは、As ホットスポットでは As のリリース速度が大きいことを示しているかもしれない。最近の 1980 年以降に涵養した地下水は、滞留時間が短いほど As 濃度が高くなっている。1990 年以降に涵養した 3 地点の地下水について、単純に As を滞留時間で除して見積もると、56, 91, 120 μg/L/y となる。1990 年以降、見かけ上、As のリリース速度が大きくなっていることを示唆している。このことは、30 年程度以前とされる灌漑用の揚水の開始による地下水流速の加速と関係しているかもしれない。

キーワード: 地下水, 滞留時間, 八ヶ岳, 琉球石灰岩, バングラデッシュ, ヒ素

Keywords: groundwater, residence time, Mt. Yatsugatake, Ryukyu limestone, Bangladesh, Arsenic

## 沖縄本島南部地域の琉球石灰岩帯水層における地下水水質の変動特性とその要因 Characteristics and fluctuation factors of groundwater quality on Ryukyu limestone region in southern part of Okinawa

安元 純<sup>1\*</sup>, 中野 拓治<sup>1</sup>, 中屋 眞司<sup>2</sup>

YASUMOTO, Jun<sup>1\*</sup>, NAKANO, Takuji<sup>1</sup>, NAKAYA, Shinji<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 琉球大学 農学部 地域農業工学科, <sup>2</sup> 信州大学 工学部

<sup>1</sup>University of the Ryukyus, Faculty of Agriculture, <sup>2</sup>Shinshu University, Department of civil engineering

Characteristics and fluctuation factors of groundwater quality(the four major cations (Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>) and four major anions (Cl<sup>-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) is investigated using observed data on groundwater at springs and observation wells in the southern part of Okinawa Main Island, Japan, where Ryukyu limestone is extensively distributed. In this study, FS6 survey was conducted to examine the residence time of groundwater in limestone aquifer. The distribution of Ca<sup>2+</sup> and HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> were similar trend because the CO<sub>2</sub> charged water first encounters a calcite layer below the groundwater table. It was found that the residence time obtained from FS6 were related with the concentrations of Ca<sup>2+</sup> and HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>. The composition of groundwater was dominated by Na<sup>+</sup> and Cl<sup>-</sup> reflecting salt water in coastal area. It was considered that NO<sub>3</sub><sup>-</sup> and SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> concentrations were influenced by the rainfall, geological structure and agricultural land use.

キーワード: 地下水, 水質, 琉球石灰岩, 変動特性

Keywords: Groundwater, Water quality, Ryukyu limestone, Characteristics and fluctuation

## バングラデシュ・シヨナルガオのヒ素汚染地下水形成に関わる帯水層構造と地下水流動

### Aquifer structure and groundwater flow related to arsenic contaminated groundwater in Sonargaon, Bangladesh

益田 晴恵<sup>1\*</sup>, 前田俊介<sup>1</sup>, 岡林克樹<sup>1</sup>, 三田村宗樹<sup>1</sup>, セディキ・アシュラフ・アリ<sup>2</sup>, 中屋真司<sup>3</sup>, 森川徳敏<sup>4</sup>  
MASUDA, Harue<sup>1\*</sup>, Shunsuke Maeda<sup>1</sup>, Katsuki Okabayashi<sup>1</sup>, Muneki Mitamura<sup>1</sup>, Ashraf Ali Seddique<sup>2</sup>, Shinji Nakaya<sup>3</sup>, Noritoshi Morikawa<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 益田晴恵, <sup>2</sup> ジェソール科学技術大学, <sup>3</sup> 信州大学工学部, <sup>4</sup> 産業技術総合研究所

<sup>1</sup>Harue Masuda, <sup>2</sup>Jessore Science and Technology University, <sup>3</sup>Faculty of Engineering, Shinshu University, <sup>4</sup>AIST

ガンジスデルタは世界最大のヒ素汚染地下水が出現する地域として知られている。この地域でのヒ素汚染地下水は、生物化学的作用により地下水が還元され、それに伴ってヒ素を吸着している酸水酸化鉄が分解することによって生じると説明されてきた。しかし、私たちは、バングラデシュ・シヨナルガオで行ってきた一連の研究を通して、ヒ素を不純物として含む碎屑性の黒雲母ないしは緑泥石が化学的風化作用により分解することによって、ヒ素汚染地下水が形成すると考えてきた。また、ヒ素汚染地下水形成には、地下水利用の増加による影響があると考えられてきたが、どのような関連があるかは不明であった。本研究では、バングラデシュ・シヨナルガオの調査地域でもっとも地下水涵養が活発な集落で、掘削により帯水層構造を明らかにすること、コア掘削により帯水層堆積物中のヒ素を固定する物質を特定すること、深度の異なった地下水中のヒ素と関連元素の濃度変化を追跡すること、地下水の年代測定により涵養年代とヒ素汚染の関係を明らかにすることによって、ヒ素汚染地下水形成最初期に帯水層で起こっている化学反応と人為による影響について検討した。

コア掘削と深度の異なる井戸掘削は、もっともヒ素濃度の高い地下水が出現する井戸 (1.2 mg/L) の近傍で行った。この地域のヒ素汚染地下水は、-30~40m に位置する不透水層である更新世の粘土層の上位にある完新世の砂層を帯水層としている。また、粘土層の下位にある更新世の被圧地下水は汚染されていない。ところが、コア掘削地点においては、粘土層が欠如しており、二つの帯水層は直接接触していた。今回の掘削地点の南方にも粘土層の欠如している地点があるが、この周辺の地下水中のヒ素濃度も高い。すなわち、本調査地域では、粘土層が欠如しているところに高濃度のヒ素汚染地下水が分布している。また、地下水の年齢は、800mg/L を超すヒ素を含む地下水では 1990 年以降に涵養されたものが多い。これらのことから、更新世の被圧地下水が過剰揚水により水圧低下し、鉛直方向の地下水浸透が盛んになったことに伴って、ヒ素汚染地下水が形成されたと考えられる。

ヒ素の原因物質は緑泥石である。逐次段階抽出法による帯水層堆積物中のヒ素は、大部分が難溶態 (ケイ酸塩 + 硫化物) として存在するが、地下水位面付近 (-7 m 付近) で、酸水酸化鉄に伴うヒ素の割合が増加する。また、-5, -10, -15m の深度での地下水中のヒ素の濃度とイオン価を分析した結果では、-5m の試料で濃度は 0.3mg/L 程度あり、As(III):As(V)=0.4:0.6 で、緑泥石のイオン価の比にほぼ等しかった。一方、-10m では、濃度は 800mg/L を超し、As(III):As(V)=0.95:0.05 となり、-15m でもあまり変化しない。これらのことは、緑泥石が調和溶解することでヒ素が溶出し、この反応は-5?-10m でもっとも盛んであることを示している。この深度では、酸素が失われていないため、緑泥石の分解に伴って溶出した鉄は酸水酸化鉄として沈殿している。

以上の結果から、本地域では、地下水涵養が活発化し、鉛直方向への好氣的地下水の流入が増加することによって、還元的な地下水環境が酸化的に変化したために、Fe(II) に富む緑泥石の分解が促進されることによって、ヒ素が地下水中に溶出したと結論づけられる。還元的な地下水環境は、ヒ素をより溶解度の高い亜ヒ酸に変化させているが、ヒ素溶出の本質的なきっかけではない。緑泥石は、他の地域でも帯水層中に広く出現することが知られていることから、このヒ素汚染地下水形成メカニズムは、ガンジスデルタの広い地域で、最初期のヒ素溶出を説明している可能性がある。

キーワード: ガンジスデルタ, ヒ素汚染地下水, 緑泥石, 化学的風化作用, 形態別化学分析

Keywords: Ganges delta, arsenic contaminated groundwater, chlorite, chemical weathering, sequentially extracted chemical analysis

## 小規模貯水池における栄養塩貯留・放出を制御する臨界水深と滞留時間の関係 Relationship between critical depth and residence time as controlling factors to retention and release of nutrient

清水 裕太<sup>1\*</sup>, 小野寺 真一<sup>1</sup>

SHIMIZU, Yuta<sup>1\*</sup>, ONODERA, Shin-ichi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 広島大学大学院総合科学研究科

<sup>1</sup> Graduate School of Integrated Arts and Sciences, Hiroshima University

流域内に存在する貯水池は、上流から運ばれてくる栄養塩を滞留させ、栄養塩循環を複雑化させる。一般に水深が深く、水の滞留時間が長いものほど流入した栄養塩の滞留量が多くなり、それと共に内部での再循環量が増加する。そして、栄養塩や土砂の蓄積が進行するにつれて貯水容量は減少するため、栄養塩貯留可能量も低下し、ある時点から栄養塩の貯留作用から放出作用へと転換する。本研究では、この転換点を臨界水深と定義し、栄養塩の貯留・放出に及ぼす臨界水深と、滞留時間の関係を数値モデルを用いて明らかにすることを目的とする。対象地域は、広島県東部を流れる一級河川芦田川の支流である高屋川流域の中流に位置する早田堰である。早田堰は平均水深が1.5m、貯水容量が $2.1 \times 10^4 \text{m}^3$ であり一年を通じて貯水され、平均滞留時間は約2日である。本研究では、堰の水深を、0.5m, 1m, 2m, 3mの4つのケースを仮定し、実測モニタリングデータおよび西オーストラリア大が開発した鉛直次元貯水池水理生態系モデル(DYRESM-CAEDYM)を使用し解析を行った。この結果、窒素に関して、水深1, 2, 3mのケースでは、上流からの流入量に対して41%~48%が堰内でトラップされている結果を示したが、水深0.5mでは3%のみがトラップされる結果を示した。また、リンに関しては、水深1, 2, 3mのケースでは、流入量の23%~31%がトラップされたのに対し、0.5mのケースでは、流入量の113%が流出する結果となり、以上の流出率と水深の関係から臨界水深は窒素の場合0.33m、リンの場合0.59mが導き出された。そして、導き出された臨界水深と滞留時間の間には一定の関係があることが明らかとなった。

キーワード: 栄養塩, 貯水池, 臨界水深, 貯留, 放出

Keywords: Nutrient, Reservoir, Critical water depth, Retention, Release

## 沖縄島羽地内海の内湾性礁原被覆薄層の粒度分布と窒素・酸素安定同位体比から得られた赤土成分の拡散パターン Diffusion pattern of red soil runoff on a bay reef flat, Okinawa-jima Island, using delta13C and delta15N.

木庭 元晴<sup>1\*</sup>, 北窪友美子<sup>1</sup>, 中辻真央<sup>1</sup>  
Koba, Motoharu<sup>1\*</sup>, Kitakubo, Yumiko<sup>1</sup>, Nakatsuji, Mao<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 関西大学  
<sup>1</sup> Kansai University

沖縄では、1972年の沖縄本土復帰前後からサトウキビやパイナップルの急激な農地開発が進み、環境問題を批判的に受け入れる時代となって、赤土等流出問題は沖縄県の自然に係わる環境問題の中心となった。1994(平成6)年に沖縄県赤土等流出防止条例が制定されたが、いまだ豪雨時には河川や海岸では赤土流出が観測されている。ボーリングコアや海底に見られる堆積物について、陸起源の炭素を評価する手法が必要と考え、この研究を実施した。

沖縄島羽地内海は沖縄県では稀少な内湾的環境にある。羽地内海に面する屋我地島南岸地先に展開する潮間低地で2011年夏、二本の350m長ほどの垂直縦断面上で数十センチ厚の表層堆積物を採取した。測定にはGPSとトータルステーションを使用した。この海域に展開する陸源堆積物の多くはサトウキビ畑が広がる屋我地島から供給されたものである。現在、この潮間低地域およびその沖合に続く浅海域には造礁サンゴは生息していないが、この基盤は内湾性の原と考えられる。

この潮間低地では表層に20cmほどの砂質堆積物が分布し、この下位にはマトリックスを持たない軟体動物貝殻片層が分布している。この報告では表層の砂質堆積物の粒度分析結果とこの層準にわずかに含まれる泥質堆積物の安定炭素・窒素同位体比について述べる。採取した堆積物の粒度分析は、砂質部分については金篩による乾式篩別、泥質部分はレーザー回折法による。表層砂質堆積物の粒度分析の結果ではそのほとんどがシャープなモードを3(細粒砂)にもち、次により粗粒部にはブロードなモードを-1?3(中礫)に持っている。泥質の画分は限られる。この潮間低地には砂漣がよく発達しており、堆積物の陶太度がよく平板状で一部トラフ状葉理を示している。泥質部は一部マッドドレープの形で観察された。

採取した表層砂質堆積物の63μmより細粒の画分を同位体比測定試料とした。窒素および炭素の安定同位体比計測のために、泥質試料10mgを燃焼によってガス化し計測した(使用ガスの検量線は作成していない)。次にこの安定炭素同位体比の研究成果を示す(参照添付図)。

添付図上下の横軸は海岸線からの距離を示す。まず下図を参照して欲しい。最も海岸線よりの試料採取点は海岸線から21mの距離に位置し、10cm余りの表層砂質堆積物に覆われた赤土層でその<sup>13</sup>Cの測定結果は-19.6‰であった。海岸線から離れるにつれて表層砂質堆積物の同位体比は増加してゆく。これを飽和曲線の一つであるロジスティック曲線に回帰した(決定係数0.9652)。この曲線で距離を増やしてゆくとほぼ500mで収束し-9.8‰になる。

次に上図を参照して欲しい。堆積物の安定同位体比計測値が陸源水塊(の同位体比L)と海水塊(の同位体比S)の混合比を反映するという前提で、堆積物の安定同位体比 =  $L + (1 - S)$  を想定すると、堆積物の安定同位体比 =  $(-19.6) + (-9.8)(1 - S)$  が成り立つので、縦軸をつまり陸源水塊の混合率とする上図が得られた。この図には対数回帰曲線を示している。当然ながらほぼ500mで陸源堆積物は消失している。なお、この図にプロットされた点は混合率の式に海岸線からの距離を50m間隔で入力した結果得られたものである。

陸上の赤土そのものの<sup>13</sup>C値は未だ測定していないが、-25‰ほどであろう。海水塊の<sup>13</sup>C値とした-9.8‰は沿岸域の付着藻類のものと同じである。屋我地島の河川という水路は、幅1間ほどのもので大雨時にはフラッシュ的に流出する。その際には海水域に流出して急激に沈殿・拡散しているだろう。これまで述べた表層砂質堆積物の出現形態からわかるように、ここで得られた安定炭素同位体比の分布傾向は、赤土が海域に供給された後の、希釈・拡散結果を示している。言い換えれば、陸域から赤土がいわば継続的に供給される環境がこの分析結果を生み出していると言えるのではないかと。なお、この層準にはサンゴ礁起源のものは極めて限られている。測定対象とした粒径63μm以下の画分には石灰質のものはほとんど含まれないと考えているが、酸と熱の処理によって早急に炭素の起源を確認する必要がある。

窒素同位体比<sup>15</sup>Nについては、試料重が多くてスペクトルがスケールアウトしたこともあり、この7点のうち、陸端一点と海方端二点の計3点であるが、すべて値は5.7‰を示した。このことは、赤土流出の起源流域の特定の可能性を示唆しており、湾内コアの個々の層準についてエプロンまたは舌状堆積物の区分に使えるかも知れない。

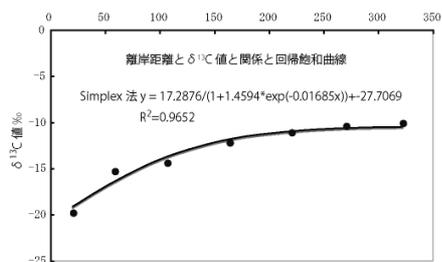
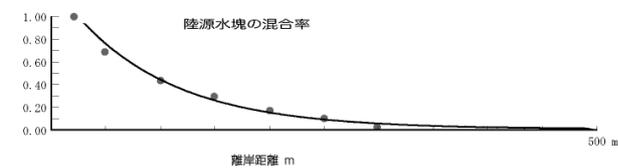
キーワード: 赤土流出, 内湾性礁原, 粒度分布, 窒素・酸素安定同位体比, 沖縄島羽地内海

Keywords: red soil runoff, bay reef flat, particle size distribution, stable isotope ratios of C and N, Okinawa's Haneji inland sea

AHW30-11

会場:101A

時間:5月22日 14:00-14:15



## 大型干潟における地下水流出に伴う栄養塩の変化特性

### Characteristics of nutrient change via submarine groundwater discharge at large tidal flat.

小野寺 真一<sup>1\*</sup>, 齋藤 光代<sup>2</sup>, 大西 晃輝<sup>1</sup>, 清水 裕太<sup>3</sup>, 金 広哲<sup>1</sup>, 徳増実<sup>3</sup>, 谷口 真人<sup>4</sup>

ONODERA, Shin-ichi<sup>1\*</sup>, SAITO, Mitsuyo<sup>2</sup>, ONISHI, Koki<sup>1</sup>, SHIMIZU, Yuta<sup>3</sup>, JIN, Guangzhe<sup>1</sup>, Minoru Tokumasu<sup>3</sup>, TANIGUCHI, Makoto<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 広島大学大学院総合科学研究科, <sup>2</sup> 愛媛大学沿岸環境科学センター, <sup>3</sup> 西条市, <sup>4</sup> 総合地球環境科学研究所

<sup>1</sup> Graduate school of Integrated Arts and Sciences, University of Hiroshima, <sup>2</sup> Center for marine environmental studies, University of Ehime, <sup>3</sup> Saijo City Office, <sup>4</sup> Research Institute for Humanity and Nature

瀬戸内海では、1980年代をピークとした富栄養化対策として、陸域からの栄養塩類の流出規制が施行され効果がみられたが、近年では沿岸域のノリの色落ちに代表されるように貧栄養化傾向が指摘されている。しかし、陸域の栄養塩類(リン:P、シリコン:Si、窒素:N)流出と海域環境との関係は十分明らかになっているとはいえない。例えば、河川や地下水の影響に関しても、その変動性や不均一性の点で、さらなる解明が必要である。

本発表では、瀬戸内海流域で最高峰の石鎚山の分布する愛媛県西条市加茂川流域に着目し、その沿岸域における地下水流出及び栄養塩流出について評価を行うことを目的とする。なお、本研究は科研A(09年~11年、代表:福岡正人)、西条市受託研究費、ニッセイ財団(代表:齋藤光代)の一部である。

調査地域は、瀬戸内海の燧灘(ひうちなだ)に面する愛媛県東部の西条市である。西条市は、背後に中四国最高峰の石鎚山を抱え、平野部には「うちぬき」と呼ばれる自噴井が多数分布し、名水100選にも指定されている。対象とした干潟は、石鎚山を水源とし北流する加茂川河口域に形成された大型河口干潟である。干潮時には埋立ての進んだ現海岸線から、おおそ1kmも干上がる。

干潟では、おおそ100mで深度1mの間隙水を2010年7月24日に採水しその水試料の分析を行った。分析は、222Rnについてはバッチ法によりRAD7で分析し、栄養塩類は分光法であるオートアナライザーで、塩分についてはイオンクロマトグラフィで分析を行った。また、干潮時の海岸線付近(堤防から1km沖)と満潮時の海岸線(堤防付近)には2010年7月、8月、9月、11月にピエゾメータ内に間隙水圧計を設置し1週間程度水圧を計測し、8月、11月に数日間採水器及びRAD7を設置し222Rn及び栄養塩濃度の時間変化をとらえた。また、護岸堤防付近と干潟中央部の二地点で深度10cm、30cm、50cm、75cm、100cm、150cm、200cm、250cmの間隙水を2013年1月24日から25日にかけて採水しその水試料についても上記分析を行った。

沿岸の栄養塩濃度分布(2010年11月)は、スポット的に栄養塩濃度が上昇していることを示す。本試験地とした干潟付近で濃度が高い傾向を示した。本干潟付近で地下水湧出量が多い傾向がみられること<sup>2)3)</sup>から、地下水湧出の影響が示唆される。おおそそのN:Pは20:1で、植物プランクトンの比(レッドフィールド比16:1)とほぼ同等であった。

沿岸干潟の間隙水中の222Rn濃度及び塩分との関係から推定した淡水の起源として、河川水、浅層地下水、深層地下水を考慮した。沿岸域は主に浅層地下水が、沖合は主に深層地下水が起源となっていることが特徴的であり、河川起源の水の分布は少なかった。なお、間隙水中の淡水寄与率は堤防付近で60%、沖合1km付近でも10%程度と高い地点がみられた。

干潟での栄養塩の寄与は、地下水由来すると推定される。干潟の間隙水中における溶存アンモニア性窒素濃度(溶存窒素の9割を占める)の分布と溶存リン濃度の分布では、高濃度域が不均一に分布していた。沖合500m及び800mで深層地下水の寄与する地点と沿岸の東側で浅層地下水の寄与する地点である。ただし、N:Pは40:1と窒素が過剰となっていた。これらは単純な地下水と海水の混合では説明できない濃度になっているため、堆積物中からの分解・溶出した成分であることが示唆される。

キーワード: 大型干潟, 鉛直解析, 栄養塩, 海底地下水流出

Keywords: large tidal flat, vertical distribution, nutrient, submarine groundwater discharge

## 瀬戸内海沿岸域の低次生態系に及ぼす地下水流出の影響評価

### Evaluation of the effect of submarine groundwater discharge on the coastal lower tropic ecosystem in the Seto Inland Sea

齋藤 光代<sup>1\*</sup>, 小野寺 真一<sup>2</sup>, 徳増 実<sup>3</sup>, 大西 晃輝<sup>2</sup>, 吉川 昌志<sup>2</sup>, 金 広哲<sup>2</sup>, 清水 裕太<sup>2</sup>

SAITO, Mitsuyo<sup>1\*</sup>, ONODERA, Shin-ichi<sup>2</sup>, Minoru Tokumasu<sup>3</sup>, ONISHI, Koki<sup>2</sup>, YOSHIKAWA, Masashi<sup>2</sup>, Guangzhe Jin<sup>2</sup>, SHIMIZU, Yuta<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 日本学術振興会特別研究員 PD, 愛媛大・CMES, <sup>2</sup> 広島大・院・総合, <sup>3</sup> 西条市

<sup>1</sup>JSPS PD, CMES, Ehime Univ., <sup>2</sup>Grad. School of Hiroshima Univ., <sup>3</sup>Saijo City

近年, 国内外において地下水流出が沿岸生態系へ及ぼす影響の重要性が指摘されてきている。しかしながら, 瀬戸内海に対する地下水流出の影響は, これまで幾つかの観測事例はあるものの定量的な評価はまだまだ不十分である。そこで本研究では, 日本有数の地下水量を誇る愛媛県西条市が面する瀬戸内海の海域の一つである燧灘を対象とし, 地下水流出が沿岸低次生態系に及ぼす影響を評価することを目的とした。

ラドン濃度や栄養塩濃度の空間分布から, 対象地域においては干潟域や海岸線近傍への地下水流出が存在しており, 栄養塩供給にも寄与している可能性が高いことが明らかになった。また, 沿岸域に生息する青海苔の窒素安定同位体比 ( $d15N$ ) から, 海水だけでなく河川水や地下水由来の窒素を利用していることが確認され, 特に海底湧水付近に生息する海苔については, 他の場所で採取された海苔と比較して低い  $d15N$  を示し,  $d15N$  の低い地下水由来の窒素に影響を受けていることが示唆された。以上を踏まえると, 研究地域では, 地下水が沿岸低次生態系への重要な窒素供給源の一つとなっている可能性が考えられる。

\* 本研究は, H22 年度ニッセイ財団若手研究助成 (代表: 齋藤光代) の支援により行われた。

キーワード: 地下水流出, 沿岸低次生態系, ノリ養殖, 瀬戸内海

Keywords: submarine groundwater discharge, coastal lower tropic ecosys, seaweed harvesting, Seto Inland Sea

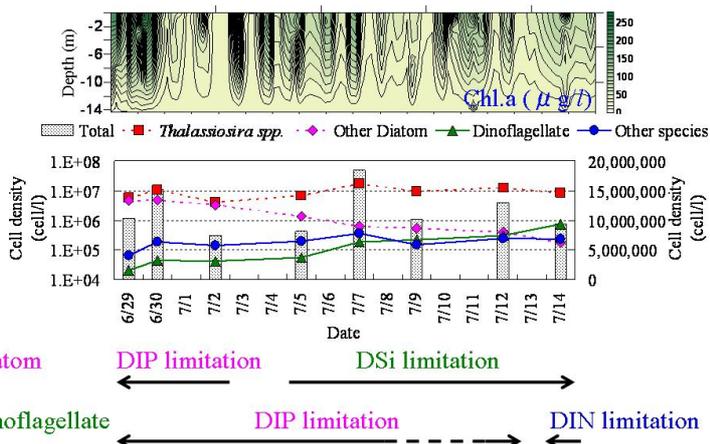
## 淀川河口の植物プランクトン種の短時間変化 Short time variation of phytoplankton species in the Yodo River

林 美鶴<sup>1\*</sup>, 木村桃子<sup>1</sup>, 樽谷賢治<sup>2</sup>  
 HAYASHI, Mitsuru<sup>1\*</sup>, Momoko Kimura<sup>1</sup>, Kenji Tarutani<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 神戸大学, <sup>2</sup> 水産総合研究センター瀬戸内海区水産研究所  
<sup>1</sup>Kobe Univ., <sup>2</sup>FEIS

淀川河口では、初春から晩秋にかけて赤潮が発生する。16日間にわたって河口の表層に係留系を設置し、クロロフィルa濃度、水温、水中光量などを10分間に測定した。また表層、水深7m、海底上で2ないし3日毎に採水を行い、植物プランクトン種別の細胞密度、栄養塩濃度を測定した。この期間中に、珪藻類の割合が若干減少し、渦鞭毛藻類の割合が若干上奏する変化が見られた。この時に、窒素(N),リン(P),珪素(Si)濃度と、N/P、N/Si、Si/Pを解析すると、制限栄養塩の変化と種の割合が関係していることが明らかとなった。

キーワード: 淀川, 植物プランクトン  
 Keywords: Yodo River, Phytoplankton



## 斜面部位による土壌呼吸量の空間変動 - 熊本県北部のスギ, ヒノキ林の場合 - Topographical variation of soil respiration in a warm-temperate evergreen forest in Ku- mamoto Prefecture, western Japan.

玉井 幸治<sup>1\*</sup>, 清水貴範<sup>1</sup>, 大貫靖浩<sup>1</sup>, 石塚成宏<sup>2</sup>

TAMAI, Koji<sup>1\*</sup>, SHIMIZU, Takanori<sup>1</sup>, OHNUKI, Yasuhiro<sup>1</sup>, ISHIZUKA, Shigehiro<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 独立行政法人森林総合研究所, <sup>2</sup> 独立行政法人森林総合研究所九州支所

<sup>1</sup>Forestry and Forest Products Research Institute, <sup>2</sup>Kyushu Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute

熊本県山鹿市鹿北町に位置する鹿北流域試験地で、標高差 40 m の南向き斜面に、頂部、上部、中部、下部の 4 プロットを設営し、土壌呼吸量を測定した。また土壌含水率や地温のモニタリング観測も併せて行った。各プロット間で、大きな地温の違いは認められなかったが、土壌含水率は大きく異なり、斜面の下方になるほど湿潤であった。4 プロットで算出された年間土壌呼吸量を比較すると、下部では 6 割程度と少なかった。その原因は、土壌特性の違いに起因する抑制効果が、土壌の湿潤による土壌呼吸の促進効果など上回ったためと考えられた。

キーワード: 斜面スケール, 森林土壌

Keywords: Slope Scale, Forest Soil

## 関東地方の森林流域における主要および微量成分の動態 Major and trace elements behavior in two forest watersheds in the Kanto region

伊藤 優子<sup>1\*</sup>, 小林政広<sup>1</sup>, 吉永秀一郎<sup>2</sup>  
ITO, Yuko<sup>1\*</sup>, Masahiro Kobayashi<sup>1</sup>, Shuichiro Yoshinaga<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 森林総合研究所, <sup>2</sup> 森林総合研究所・九州

<sup>1</sup>FFPRI, <sup>2</sup>FFPRI, Kyusyu

### 1・はじめに

人為排出源から大気中に放出された様々な物質が、乾性、湿性沈着として森林生態系に負荷される。そのような物質の中には、窒素、硫黄、有害な重金属成分などが含まれている。これまでに、日本の森林域においても、大気から森林への窒素や硫黄の流入量に関して欧米で報告されている様な高い値が報告されている。また、関東平野周辺に位置する森林域から流出する渓流水中の硝酸濃度が高く、大気からの窒素流入量の増加が指摘されている。しかしながら、欧米で多く見られるような渓流水、湖水の酸性化や有害金属の溶出はほとんど観測されていない。本研究では、人間活動の活発な関東平野周辺部に位置する森林流域において、主要および微量成分の森林生態系への流入量および土壌中の動態を明らかにすることを目的とした。

### 2・方法

茨城県内にある筑波共同試験地、および、桂試験地において、林外雨、林内雨、土壌水、渓流水を定期的に採取した。流域の基盤地質は異なるが、両地点の土壌は火山灰母材由来の褐色森林土である。また、流域の植生は、斜面上部はヒノキ、アカマツ、広葉樹、斜面下部はスギの人工林(45~55年生)である。土壌水の採取はポラスカップ(セラミック製、PTFE製)を表層10cmから200cmまでの深度に埋設し、2週間に一度採取した。採取した各試料の主要および微量成分濃度の測定を行った。

### 3・結果と考察

関東平野の周縁部に位置する筑波共同試験地における降水に伴う多くの主要および微量成分の流入量は、より内陸部に位置する桂試験地と比較して多かった。また、筑波共同試験地の斜面下部の土壌水は下層まで酸性を示し( $< 4.5$ )、非常に高い硝酸濃度も観測された。同様に、土壌水中の微量成分濃度も高く、特に、Al, Cd濃度は下層においても高く、大気から森林への過剰な窒素負荷による土壌酸性化により土壌中の微量成分動態への影響が示唆された。しかしながら、渓流水の酸性化は観測されなかった。

## 林床被覆率が異なる森林斜面における土壌流出プロセスの評価 Evaluation of the process of determining sediment yield in forested slopes with different forest floor cover percentage

若松 孝志<sup>1\*</sup>, 池田英史<sup>1</sup>, 中屋耕<sup>1</sup>, 阿部聖哉<sup>1</sup>  
WAKAMATSU, Takashi<sup>1\*</sup>, Hideshi Ikeda<sup>1</sup>, Ko Nakaya<sup>1</sup>, Seiya Abe<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 電力中央研究所

<sup>1</sup>central research institute of electric power industry

近年、わが国では間伐等の森林管理が不十分な人工林が増大しており、間伐遅れのヒノキ植林地では、林冠の鬱閉による光環境の悪化により林床の裸地化が進行し、雨水の表面流出や土壌流出が増大することが指摘されている。林床被覆は雨滴の衝撃エネルギーを緩和することにより、土壌流出を軽減する機能を有するといわれているが、この林床被覆の機能が発現されるメカニズムについて、土壌流出に至るプロセスを考慮した詳細な観測データにもとづき、評価した例は少ない。そこで、本研究では、地表面に土壌の一部が露出しているヒノキ林と、林床がほぼ完全に被覆しているコナラ林を対象に、土壌流出との関係が強いといわれる降雨、土壌剥離、表面流などに関する観測を行い、林床被覆率の相違が土壌流出プロセスにおよぼす影響について検討した。降雨の運動エネルギーは両地点でほぼ等しかったにもかかわらず、ヒノキ林の土壌剥離量はコナラ林の約6倍大きかった。そのため、コナラ林に比べて林床被覆率がより低いヒノキ林では、林床被覆が雨滴エネルギーを緩和する効果がより小さいため、土壌剥離量が増大したと考えられた。ヒノキ林では、土壌流出量がコナラ林よりも1桁以上大きく、土壌剥離量が多い期間ほど、土壌流出量が大きい傾向を示した。また、ヒノキ林では、コナラ林に比べて単位時間あたりの最大表面流出量（流出強度）が大きく、流出強度は土壌流出量との間に高い正の相関関係が認められた。以上より、ヒノキ林では、雨滴による土壌剥離量がより大きいことに加えて、剥離された土壌の輸送に寄与する表面流の流出強度がより大きいことが、土壌流出量の増大を引き起こした主要な要因と考えられた。

キーワード: 土壌侵食, 林床被覆, 表面流出, ヒノキ人工林, 土壌剥離, 土壌流出

Keywords: Soil erosion, Forest floor cover, Surface runoff, Cypress plantation, Soil splash detachment, Sediment yield

## 放牧草地における土壌侵食様式の分類 Classification of soil erosion patterns on grazing pastures

中尾 誠司<sup>1\*</sup>, 佐々木 寛幸<sup>1</sup>, 山本 博<sup>2</sup>

NAKAO, Seiji<sup>1\*</sup>, SASAKI Hiroyuki<sup>1</sup>, YAMAMOTO, Hiroshi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 畜産草地研究所 (農研機構), <sup>2</sup> 近畿中国四国農業研究センター (農研機構)

<sup>1</sup>Institute of Livestock and Grassland Science, NARO, <sup>2</sup>Agricultural Research Center for Western Region, NARO

わが国では、現在、全国で約 900 の公共牧場と呼ばれる大規模草地が存在している。これらの草地の多くは傾斜地に立地しており、大規模なガリ侵食が発生している事例もある。放牧草地では、家畜行動などの影響により、普通畑などには見られない土壌侵食様式があると考えられるが、その実態に関する情報はほとんどない。

本研究では、北関東地域の公共牧場において、牧区内の土壌侵食状況を詳細に踏査・調査した。その結果、傾斜放牧草地での土壌侵食は、放牧家畜の蹄傷などに伴う草地面の裸地化・凹凸化とそれに起因した流水によるリル・ガリ化、雨水集中化に伴う土壌侵食溝の発達など、概ね 11 の様式に分類できることがわかった。

キーワード: 放牧草地, 土壌侵食

Keywords: grazing pasture, soil erosion

## 台風が降雨中および降雨後の渓流水の硝酸濃度に及ぼす影響

### The effects of typhoon on nitrate concentration in stream water during storm and post-storm

篠宮 佳樹<sup>1\*</sup>, 小林政広<sup>1</sup>, 坪山良夫<sup>1</sup>, 玉井幸治<sup>1</sup>, 澤野真治<sup>1</sup>, 大年邦雄<sup>2</sup>, 横山雄一<sup>3</sup>, 中山健二<sup>3</sup>

SHINOMIYA, Yoshiki<sup>1\*</sup>, KOBAYASHI Masahiro<sup>1</sup>, TSUBOYAMA Yoshio<sup>1</sup>, TAMAI Koji<sup>1</sup>, SAWANO Shinji<sup>1</sup>, OHDOSHI Kunio<sup>2</sup>, YOKOYAMA Yuichi<sup>3</sup>, NAKAYAMA Kenji<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 森林総合研究所, <sup>2</sup> 高知大学, <sup>3</sup> 四電技術コンサルタント

<sup>1</sup>Forestry and Forest Products Research Institute, <sup>2</sup>Kochi University, <sup>3</sup>Yonden Consultants Co., Inc.

森林生態系において窒素は重要な栄養源であり、渓流を通じて生態系外へ流出する窒素成分は損失となる。また河川の水質保全の観点からも、森林から窒素が多量に流出するのは好ましくない。一般に森林流域からの窒素流出量に関して、雨量増加に伴い窒素流出量は増大する傾向にある。従って台風により多量の降雨があると多量の窒素が流出すると予想される。また、台風により渓流水の硝酸濃度が数年にわたり上昇するなど、長期に影響を及ぼす場合もある。気候変動の結果、こうした台風の発生頻度が増加する可能性や台風の大きさが強大化する可能性が指摘されている。本発表では、国内の複数の森林流域での観測結果を基に、台風が渓流水の硝酸濃度に及ぼす短期的（降雨中から降雨後にかけて）影響について考察した。

試験流域を、高知県梶原町の1箇所（YS）、同県津野町の1箇所（HT）、茨城県城里町の2箇所（KFC、KHC）、計4箇所に設定し、流域末端で流出水量を観測した。いずれの流域でも量水堰の直上に自動採水器（ISCO製 model6700など）で主に1~2時間間隔で水質分析用試料水を採集した。その後、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度等をイオンクロマトグラフ法で分析した。YS流域では2004年6月総雨量247mm、同年8月総雨量289mmの、HT流域では2011年5月総雨量212mm、同年8月総雨量742mm、同年9月総雨量133mmの、KFC、KHC流域では2011年7月総雨量133mm、同年9月総雨量206mmの台風に伴う出水時のサンプリングができた。

KFC、KHC流域の大雨時の硝酸濃度変動は、流出水量の増加に伴って濃度上昇し、流量ピーク付近で最大濃度となった。その後、流出水量の低下に伴って徐々に濃度低下した。この変動パターンは、既往のMuraoka and Hirata(1988)による総雨量291mmの、大類ら(1992)の総雨量189mmの出水時に観測されたNO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度変動パターンとよく似ていた。一方、YS、HT流域では、大雨時の渓流水のNO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度の変動パターンは、大雨初期は流出水量の増加に伴ってNO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度は上昇したが、流出水量の増加が続いている最中（大雨の中盤~後半）に一転して顕著に低下し、降雨終了後も極めて低い状態が少なくとも一週間以上続いた。台風出水による渓流水のNO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度の顕著な低下は、Zhangら(2007)の総雨量182mmの事例と同様であった。以上のように、台風が降雨中および降雨後の渓流水のNO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度へ及ぼす影響は、国内でも異なることが示された。YS、HT流域では、台風に伴う大雨出水の途中から降雨終了後の少なくとも数日間程度、硝酸の流出が発生しない。こうした流域の応答の違いは年間の窒素フラックスに影響している可能性がある。また、地域内で複数の事例が観察されていることから、硝酸濃度に及ぼす影響が異なる要因は各流域独自の特性ではなく、地域的な地質、地形、土壌等の影響を受けているとみられる。

キーワード: 台風, 渓流水, 硝酸

Keywords: typhoon, streamwater, nitrate

## 農耕地土壌分類および物理的性質データベース SolphyJ を用いた SWAT の桜川流域への適用

### Application of SWAT using the Japanese soil taxonomy of agricultural fields and SolphyJ to the Sakura River watershed

吉川 省子<sup>1\*</sup>, 朝田 景<sup>1</sup>, 江口定夫<sup>1</sup>  
YOSHIKAWA, Seiko<sup>1\*</sup>, ASADA, Kei<sup>1</sup>, Sadao Eguchi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 農業環境技術研究所

<sup>1</sup>Natl. Inst. Agro-Environ. Sci.

#### はじめに

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。農業が関わる流域レベルの水・溶質移動解析には、地形・土壌・気象条件のほかに、作物種や肥培管理等の情報を入力できる米国の SWAT が有効と思われる。日本に適用した流域単位の水・溶質移動解析を行なうため、土壌図は農耕地土壌分類第2次案ポリゴンデータ(小原ら, 2011)を用い、各土壌の物理性は農耕地土壌の物理的性質データベース SolphyJ(江口ら, 2011)の基本的統計値を用いた。ここでは、水質汚濁が問題となっている茨城県の霞ヶ浦に注ぐ桜川流域について、本枠組みによる水・溶質移動解析の試みを紹介する。

#### 方法

流域およびサブ流域は ArcSWAT (SWAT を ArcGIS に組み入れたもの) の Thresholded-Based Stream Definition により DEM から作成した。国土省の土地利用データ、農環研の農耕地土壌分類第2次案ポリゴンデータ、および、1978~2008年のつくば市館野の気象データを読み込み、河床の透水性や粗度に関わるパラメータを実際に合わせて入力してシミュレーションを行なった。下流の流量測定地点(藤原新田、図の赤丸)において、SWAT による予測流量と国土交通省の測定流量(2006.1.1~2008.6.30)を比較した。

#### 結果と考察

SWAT により決定した桜川流域(流域面積 330 km<sup>2</sup>)とサブ流域計 26 を図に示す。また、土地利用図は9区分された。対象流域の農耕地は30の土壌統群に分かれており、それぞれに SolphyJ の基本的統計値を入力した。SolphyJ の対象外である森林部分については、国土調査5万分の1土壌図を参考に、細粒褐色森林土が表面を覆い、下層3m以下は難透水層であるという設定を入力した。

シミュレーションでは、河床にコンクリートを想定した場合(河床の透水係数 0 mm h<sup>-1</sup>, マニング粗度係数 0.014)の解析結果では、降雨に合わせて短時間に急激な流量ピークが現れた。一方、河床の透水係数をシルト・粘土が中程度含有している時の値(25 mm h<sup>-1</sup>)とし、マニング粗度係数を河床が土壌であり、蛇行した穏やかな流れの時の値(0.035)を選定した場合、河川基底流量や河川流量ピーク高さが、ある程度測定値に近づくことを認めた。しかし、ここでは、水田を畑同様に扱った結果であった。

桜川流域では、土地利用の1/3近くが水田である。水田は地形は傾斜していながら田面は平らになるように農地整備されている。その上に河川や用水から灌漑水を引いて溜めたり、落水したりするが、現在の SWAT では水田は考慮されておらず、水利用をうまく表現することは難しい。そのことは溶質の収支にも影響するため、水田の水利用を表現する工夫が必要と考えられた。

#### 要約

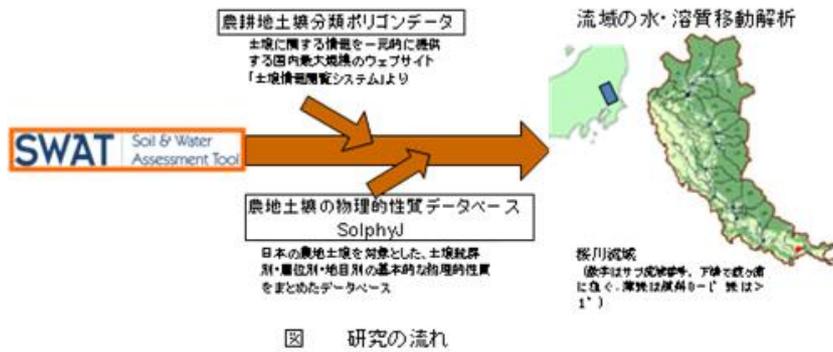
流域の水・溶質移動解析に SWAT (Soil and Water Assessment Tool) を適用するにあたり、農耕地土壌分類第2次案ポリゴンデータ等を用い、土壌統群別・層位別・地目別の基本的な物理的性質をデータベース化した SolphyJ (Agricultural soil profile physical properties database, Japan) の統計値を用いることにより、日本の流域に適した解析を可能とする枠組みを示した。本枠組みにより、霞ヶ浦に注ぐ桜川流域を対象とした SWAT モデルを作成し、気象データや河床の透水性や粗度に関わるパラメータを入力することにより、第1次近似的な数値計算を行なった結果、河川下流部において測定流量と比較可能な程度の予測流量を得ることができた。しかし、水田においては、地形は傾斜していながら田面は平らであり、その上に湛水させるといふ水田の構造と水管理をうまく表現することができなかった。それは溶質の収支が合わない原因となりうるため、今後解決しなければならない。

引用文献: 小原ら (2011) 農業環境技術研究所報告, 29,1-73

江口ら (2011) 研究成果情報, 27, 60-61 (独) 農業環境技術研究所

キーワード: SolphyJ, SWAT, 農耕地土壌分類, 水田

Keywords: SolphyJ, SWAT, soil taxonomy of agricultural fields, paddy field



## 大量施肥農業流域における不圧地下水中の溶存 $N_2O$ の空間分布特性と季節変化 Spatial distribution characteristic and seasonal change of $N_2O$ in the groundwater of an agricultural catchment

大西 晃輝<sup>1\*</sup>, 小野寺 真一<sup>1</sup>, 齋藤 光代<sup>2</sup>, 清水 裕太<sup>1</sup>, 吉川 昌志<sup>1</sup>

ONISHI, Koki<sup>1\*</sup>, ONODERA, Shin-ichi<sup>1</sup>, SAITO, Mitsuyo<sup>2</sup>, SHIMIZU, Yuta<sup>1</sup>, YOSHIKAWA, Masashi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 広島大学大学院総合科学研究科, <sup>2</sup> 愛媛大学 沿岸環境科学研究センター

<sup>1</sup>Graduate School of Integrated Arts and Sciences, Hiroshima University, <sup>2</sup>Center for marine environmental studies, Ehime University

本研究では、大量施肥流域における溶存亜酸化窒素 ( $N_2O$ ) の不圧地下水中の空間分布特性を明らかにすることを目的とし、瀬戸内海沿岸の果樹園流域を対象として、地下水中の  $N_2O$  濃度、硝酸態窒素 ( $NO_3^-$ -N) 濃度およびその他の溶存化学成分の地下水流動に伴う濃度変化から、溶存  $N_2O$  の動態およびその変化の要因についての考察を行った。上流域の  $N_2O$  濃度は、深度によらず  $10 \mu g L^{-1}$  前後を示し、下流域では深度 15m 以上の深部で  $40 \mu g L^{-1}$  の高い濃度を示したにも関わらず、深度 15m 以下の浅部ではほとんど検出されないという特徴が見られた。この要因として、上流域では硝化の過程での  $N_2O$  の発生が影響していると示唆された。一方で、下流域の浅部では DO が  $2mgL^{-1}$  以下と低く、さらに溶存有機態炭素 (DOC) 濃度が  $10mgL^{-1}$  と高い値を示したため、脱窒が完全に起こることによって  $NO_3^-$ -N が全て  $N_2$  の形態に変化しており、反応の途中段階で生じる  $N_2O$  は検出されなかったものと考えられる。一方で、下流域の深部は浅部と比較して弱い還元状態にあり、脱窒反応の副産物である  $N_2O$  の発生が影響していると示唆された。

キーワード: 地下水, 亜酸化窒素, 脱窒, 硝化, 農業流域

Keywords: groundwater,  $N_2O$ , denitrification, nitrification, agricultural catchment

## SWATを用いた大和川流域における栄養塩流出量の推計 Estimation of nutrient flux in the Yamato watershed using SWAT model

大西 晃輝<sup>1\*</sup>, 清水 裕太<sup>1</sup>, 小野寺 真一<sup>1</sup>, 齋藤 光代<sup>2</sup>, 吉川 昌志<sup>1</sup>

ONISHI, Koki<sup>1\*</sup>, SHIMIZU, Yuta<sup>1</sup>, ONODERA, Shin-ichi<sup>1</sup>, SAITO, Mitsuyo<sup>2</sup>, YOSHIKAWA, Masashi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 広島大学大学院総合科学研究科, <sup>2</sup> 愛媛大学沿岸環境科学研究センター

<sup>1</sup>Graduate School of Integrated Arts and Sciences, Hiroshima University, <sup>2</sup>Center for marine environmental studies, Ehime University

これまでに筆者らが行った既存水文データを用いた長期変動解析において、1970年代の大和川の最下流ではBODは最大で $30\text{mgL}^{-1}$ を示しており汚濁の激しい状態であることが確認され、BODの季節変化は、大和川の下流では季節変化および水温変化にともなうアンモニウム態窒素濃度の変動、すなわちN-BODの変動の影響を強く受けていることが明らかになった。また、SS濃度および $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 濃度から確認した水質汚濁の指標であるBOD回復過程は、1990年以前の汚濁期には無機態窒素の減少が関与するのに対して、1991年以降には懸濁態有機物および無機態窒素の減少が関与していることが明らかになった。以上のことから、1990年以前は懸濁態有機物による水質汚濁以上にN-BODが主であったと考えられ、その後はC-BODの減少も関与してきたものと考えられる。しかしながら、これらの解析は主に平水時を対象としたものであったため、洪水時の影響を考慮できていなかった。

そこで、本研究では洪水時の栄養塩流出量について準分布型水文流出モデルSWAT(Soil Water Assessment Tool)を用いて推計することを目的とする。SWATを適用した結果、洪水時の栄養塩流出量は従来の方法で見積もられてきた量と比べて非常に多く、栄養塩の多くが洪水時に流出していることが明らかとなった。また、モデルで定義した支流ごとの栄養塩発生量が算出され、洪水時および平水時の負荷源の違いが明らかとなった。

キーワード: 水質汚濁, 河川, 栄養塩, SWAT, 溶存窒素

Keywords: water pollution, river, nutrient, SWAT, dissolved nitrogen

## 大和川感潮域における河川水 - 地下水交流にともなう栄養塩輸送特性 Nutrient transport with the river water-groundwater interaction in the tidal reach of the Yamato river basin

齋藤 光代<sup>1\*</sup>, 小野寺 真一<sup>2</sup>, 吉川 昌志<sup>2</sup>, 大西 晃輝<sup>2</sup>, 清水 裕太<sup>2</sup>

SAITO, Mitsuyo<sup>1\*</sup>, ONODERA, Shin-ichi<sup>2</sup>, YOSHIKAWA, Masashi<sup>2</sup>, ONISHI, Koki<sup>2</sup>, SHIMIZU, Yuta<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 日本学術振興会特別研究員 PD, 愛媛大・CMES, <sup>2</sup> 広島大・院・総合

<sup>1</sup>JSPS PD, CMES, Ehime Univ., <sup>2</sup>Grad. School of Hiroshima Univ

河川感潮域においては、干満にともなう塩水遡上の影響で河川水位が短期的に変動する。また、それにともない河川水 - 地下水交流が活発に生じ、結果的に栄養塩動態にも影響を及ぼしていると考えられる。しかしながら、従来の河川から海域への栄養塩負荷の評価にあたっては、このような感潮域における栄養塩動態変化は十分に考慮されていない。そこで本研究では、大阪湾に流入する大和川の感潮域を対象とし、河川水 - 地下水交流にともなう栄養塩輸送特性を明らかにすることを目的とした。

河口から約 6~7km 上流側に至るまでの河川水中ラドン (222Rn) 濃度変化および河川水と河床間隙水のポテンシャル差から、上流側においては河川への地下水流出が生じている傾向が確認されたが、河口近傍においては地下水のポテンシャルが河川水と比較して低く、対照的に河川水が地下水を涵養している傾向を示した。これには、都市域における過剰な地下水の揚水による水位低下が影響しているものと考えられる。すなわち、塩水遡上にともない地下水の塩水化が進むことが示唆された。また、栄養塩濃度の時空間変化から、硝酸性窒素 (NO<sub>3</sub>-N) 濃度が顕著に時間変化しており、さらに溶存有機態窒素 (DON) 濃度との間に負の相関関係がみられた。また、河川水位の上昇にともないリン酸態リン (PO<sub>4</sub>-P) 濃度が上昇する傾向が確認された。

\* 本研究は、H23 年度大阪湾圏域の海域環境再生・創造に関する研究助成 (代表: 小野寺真一) の支援により行われた。

キーワード: 感潮域, 河川水 - 地下水交流, 栄養塩輸送

Keywords: tidal reach, river water-groundwater interaction, nutrient transport

## 江田島湾とジャカルタ湾の塩淡水境界周辺における栄養塩再生産 Nutrient regeneration at seawater-groundwater interface zone in Gulf of Etajima and Gulf of Jakarta.

吉川 昌志<sup>1\*</sup>, 小野寺 真一<sup>2</sup>, ヘンドラ・バクティ<sup>4</sup>, 齋藤 光代<sup>3</sup>, ラクマト・ファジャー・ルビス<sup>4</sup>, ロバート・エム・デリノム<sup>4</sup>  
YOSHIKAWA, Masashi<sup>1\*</sup>, ONODERA, Shin-ichi<sup>2</sup>, Hendra Bakuti<sup>4</sup>, SAITO, Mitsuyo<sup>3</sup>, Rachmat Fajar Rubis<sup>4</sup>, Robert M. Dellinom<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 広島大学総合科学研究科, <sup>2</sup> 広島大学総合科学部, <sup>3</sup> 愛媛大学沿岸環境科学研究センター, <sup>4</sup> インドネシア科学院  
<sup>1</sup>Graduate School of Integrated Arts and Science, Hiroshima University, <sup>2</sup>Faculty of Integrated Arts and Science, Hiroshima University, <sup>3</sup>Center for marine environmental studies, Ehime University, <sup>4</sup>Indonesia Institute of Science, LIPI

潮間帯では、潮汐変動は地域の栄養塩負荷と大きく関わっている重要な要素の一つである。Santos et al.(2009)では、潮汐による海底地下水流出(Submarine Groundwater Discharge; SGD)のほとんどが海水の再循環(RSGD)であるにも関わらず、河川や淡水性SGD(FSGD)を上回る栄養塩生産が報告されている。これまでSGDは海域への重要な栄養塩供給源として注目されてきているが、潮汐と連動した海水の再循環に伴う栄養塩の生産という視点で、全く異なる水文条件を持つ地域で比較研究を行った例は多くない。そこで、本研究では潮汐変動の大きさに焦点を当て、干満差の大きい江田島湾と、変化の少ないジャカルタ湾でのそれぞれのSGDに伴う栄養塩生産、供給量を見積もった。

本研究は2011年7月9日から10日にかけて広島県江田島市北側の沿岸地域及び2011年8月23日にインドネシアジャカルタ沿岸地域で行った。広島県江田島地域は、半閉鎖性海域である瀬戸内海に位置する花崗岩質の島である。また年間降水量は約1100mm程度で、河川からの流出が10%程度、地下水からの流出が20-40%を占める(小野寺, 2008)。また、本地域では潮位差が大きく、現地調査では最大2mの潮位差が観測された。また、インドネシアジャカルタ地域は広島とは対照的に潮位差が少ない。また、年間降水量は約1800mm程度であるが、そのほとんどは雨季に降水し、本研究の実地調査は乾季の終わりの、海底地下水流出が少ないと想定される時期に行った。

222Rnの連続観測は、それぞれ江田島は陸から80m沖、ジャカルタは陸から40m沖の地点で行った。また、同地点で一時間毎に表層海水の水試料を採取した。また、海水中の流速はドップラー流速計(WH-ADCPモニター; Teledyne RD instruments社製)で測定した。試料はシリンジフィルターでろ過し、採取後は現場で保持している間はクーラーボックスで冷蔵状態を保ち、観測が終了した後は直ちに冷凍保存した。水試料は実験室に持ち帰り、イオンクロマトグラフィーで溶存陰イオン、フローインジェクション式分光光度計(SwAAt, BLTEC社製)で栄養塩を定量分析した。

SGDはBurnett and Dulaiova(2003)で考案された222Rn収支に加え、Cl<sup>-</sup>、SiO<sub>2</sub>-Siをトレーサーとして淡水性SGDと海水性SGDを分離して見積もった。また、塩分濃度による海水と地下水のエンドメンバーから、それぞれのSGDが供給・生産した栄養塩の量を見積もった。

キーワード: 潮間帯, 潮汐, 栄養塩生産, 海底地下水流出

Keywords: tidal zone, tidal fluctuation, nutrient production, submarine groundwater discharge

## 人為に伴う窒素汚染問題の変遷 - 法政大学水文地理学研究室の現地調査事例から - Changes of the nitrogen pollution problem accompanying human work from the field survey example by LHG of Hosei Univ.

小寺 浩二<sup>1\*</sup>, 森本 洋一<sup>2</sup>

KODERA, Koji<sup>1\*</sup>, MORIMOTO, Yoichi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 法政大学地理学教室, <sup>2</sup> 法政大学大学院

<sup>1</sup>Department of Geography, Hosei University, <sup>2</sup>Graduate School, Hosei University

### 1 はじめに

法政大学では、「人為に伴う水環境」変化という視点から、国内外の様々な地域で、現地調査を継続してきた。1950～1960年代の高度成長期に水質汚濁が進んでいく様子から、1970年代以降水質汚濁防止法を中心とした法整備によって急速に改善されていった時代、その後、様々な公共事業との関係等から複雑化した現状まで、まさに人海戦術で駆け回って得た観測結果が残されている。著しい点源汚染から面源汚染へ、そして違った形での点源汚染へと変化してきた硝酸窒素汚染を中心とした窒素問題にも取り組んできた。それらの事例を元に窒素汚染問題の変遷をまとめる。

### 2 都市域の水質汚濁と硝酸窒素汚染

1930年代に吉村信吉先生が精力的に調査された武蔵野台地の地下水調査記録を三井先生が引き継いだことがきっかけで、その後、繰り返しこの地域の地下水・湧水・河川水の調査を続け、その後、多くの学生が、卒論・修論として成果をまとめ、学会でも発表してきた。最近では、文部科学省学術フロンティア推進事業「都市における水辺空間の再生に関する研究」の一部として、2004～2007年にかけて、首都圏の広範囲な地域を対象とした現地調査を行い、「都市圏の水環境」(2005)等にまとめている。

特に、新河岸川に関しては、継続的な調査結果を踏まえてまとめられた森木ほか(2009)が、主な成果であるが、論文に納められているものはほんの一部で、膨大な調査記録を今後どう活用するかが課題である。長年にわたって地下水中に蓄積された硝酸性窒素が河川水の水質に大きな影響を与えていることが明確となっている。

### 3 大河川流域

大河川流域に関しては、古典的・網羅的な調査から、複数の学会(特に地理学会)でのワーキンググループによるデータベース研究の一環として進められたものと、流域管理のための小流域原単位GIS物質循環モデル構築に関する研究に大別される。

#### 1) 大河川流域の水環境データベース

ほぼ同じ時期に、水文水資源学会の「試験流域データベースRG」、日本水文学会の「水文データベースWG」等にも属して活動したが、主に日本地理学会の「水環境の地理学RG」の活動の一環として、「大河川流域の水環境データベースに関する地理学的研究」と題して継続発表してきた。

対象とした河川は、四万十川・利根川・紀ノ川・吉野川・馬淵川・阿賀野川・神通川・狩野川・藤川・相模川・阿武隈川・最上川・九頭竜川・荒川・天塩川・大淀川・信濃川・魚野川・芦田川・北上川・千代川・黄瀬川・酒匂川・新河岸川等である。地誌的網羅的なものではあるが、大河川流域の窒素問題としての再整理は可能で有効と考えている。

#### 2) 小流域原単位GIS物質循環モデル

1990年代後半から、土木工学の岡研究室との野川に関する共同研究が始まり、荒川水系入間川・阿武隈川水系釈迦堂川・霞ヶ浦集水域恋瀬川などでのステップを経て、広島大学との共同研究で芦田川流域を対象に有効性を検証し、現在は、信濃川流域魚野川、猪苗代湖集水域などで実証中。窒素問題解析に活用できるものと考えている。

### 4 半島・島嶼・農業地域

半島や島などの主に農業地域において、その土地利用や作付け状況に応じた窒素汚染の現状と対策に着いての研究を進めてきた。地域としては、房総半島・三浦半島・島原半島・石垣島・宮古島などである。季節変化を把握するための定期的な観測や、作付け調査の負担は大きい、具体的で密な成果が得られるため、今後も機会があれば継続したい。

### 5 おわりに

環境省は、1999年に水質汚濁に係わる環境基準項目に硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素を追加して規制を始めたが、環境基準の超過率は突出していて、産官学民の連携と協働が求められている。全国の硝酸・亜硝酸性窒素による地下水汚染対策推進計画の問題点についても検討し、継続した議論を続けていきたい。

キーワード: 窒素汚染問題, 高度成長期, 水質汚濁, 環境基準, 公共事業, GIS

Keywords: nitrogen pollution problem, high-growth era, water pollution, environmental standards, public works, geographical information system

## 沖縄本島南部地域の琉球石灰岩帯水層における水質組成の現状と特性 Characteristics of groundwater chemical composition on Ryukyu limestone region in southern part of Okinawa

中野 拓治<sup>1\*</sup>, 安元 純<sup>1</sup>

NAKANO, Takuji<sup>1\*</sup>, YASUMOTO, Jun<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 琉球大学 農学部 地域農業工学科

<sup>1</sup>University of the Ryukyus, Faculty of Agriculture

The study area is located in the southern part of Okinawa Main Island, Japan, where Ryukyu limestone is extensively distributed. In this study field surveys were conducted to examine the characteristics of groundwater quality over a wide coastal area with agricultural land use. We studied the characteristics of groundwater chemical composition (the four major cations (Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>) and four major anions (Cl<sup>-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) in this region by using observation data at springs and observation wells. It was found that the chemical composition showed CaHCO<sub>3</sub><sup>-</sup> type of groundwater from limestone aquifer where CaCO<sub>3</sub> dissolution was predominant process yielding atypical bird-like shape in the Stiff diagram. The other components of groundwater also were indicated high concentrations so that the compositions were dominated by Na<sup>+</sup> and Cl<sup>-</sup> reflecting salt water and NO<sub>3</sub>-N and SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> related agricultural land use in this area.

キーワード: 地下水, 水質組成, 琉球石灰岩

Keywords: Groundwater, Chemical composition, Ryukyu limestone

## 東八幡平地域における地下水中の硫酸イオン起源 - 硫黄同位体比を用いた検討 - The origin of sulfate ion in groundwater at the Higashi-Hachimantai area, Investigation using sulfur isotopic ratio

鈴木 秀和<sup>1\*</sup>, 田瀬 則雄<sup>2</sup>

SUZUKI, Hidekazu<sup>1\*</sup>, TASE, Norio<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 駒澤大・文・地理, <sup>2</sup> 筑波大・生命環境系

<sup>1</sup> Dep. of Geography, Komazawa Univ., <sup>2</sup> Faculty of Life and Environmental Sci., Univ. of Tsukuba

岩手県八幡平市の東八幡平地域は、岩手山北麓に位置しており、名水百選として名高い金沢清水に代表される地下水が地域住民の生活用水などに利用されている。山間部に位置しているにもかかわらず、対象地域の湧水・地下水は、人為的な汚染がない地域にもかかわらず、電気伝導度が約 700  $\mu$  S/cm とかなり高い値を示すものが認められた。とくに一般的な地下水と異なることは、硫酸イオン濃度が 100 ~ 200mg/L とかなり高い値をもつことである。本研究では、硫黄同位体比を指標に用い、対象地域における地下水の地球化学特性、とくに硫酸イオンの起源について検討を行った。

まずその水質組成に着目すると、中央部を東西に流れる松川を挟んで大きく異なっており、南側の金沢地区では Ca-HCO<sub>3</sub> 型であるのに対し、北側の柏台地区では、多くのサンプルが Ca-SO<sub>4</sub> 型を示していた。本地域が活火山である岩手山や、かつて東洋一の規模を誇った松尾鉾山跡地を涵養域にもつことから、その水質形成には火山活動や硫化鉍物あるいは鉍山排水の影響が考えられる。

硫黄同位体比 (<sup>34</sup>S 値) についてみると、水質組成と同様に松川を挟んで大きく異なることが判明した。南側の岩手山系地下水は +10.0 および +12.3 ‰ と高い値であったのに対し、北側の八幡平系地下水は -2.6 および -1.6 ‰ と低い値を示していた。炭素同位体比の測定結果から、南側の岩手山系地下水には火山ガスの関与が認められ、硫酸イオンも火山性硫黄化合物を起源としていることが考えられる。北側の柏台地区にみられる Ca-SO<sub>4</sub> 型の八幡平系地下水は、松尾鉾山周辺の自然酸性河川水や鉾山からの処理水が流入する、酸性河川である赤川の <sup>34</sup>S 値が -6.2 ‰ と低いことから、松尾鉾山付近で涵養され、鉾山周辺などの硫化鉍物の酸化により生じた硫酸の影響を受け、SO<sub>4</sub> 型の溶存成分量が多い湧水・地下水になるものと考えられる。また、赤川の <sup>34</sup>S 値より高い値をとることから、柏台地区の地下水には、主要流出河川である調査地域中央部を流れる松川を越え、岩手山系地下水が流入し混合しているものと考えられる。なお、本地域が火山山麓の流出域に位置していることに加え、水質特性や流量観測の結果からみると、柏台地区の湧水・地下水には酸性河川である赤川からの伏流水の影響はほとんどないものと考えられる。

キーワード: 岩手山, 八幡平, 地下水, 混合, 硫酸イオン, 硫黄同位体比

Keywords: Mt. Iwate, Hachimantai, groundwater, mixing, sulfate ion, sulfur isotopic ratio

## 三滝川流域における水文地質と地下水流動系

## Hydrogeology and groundwater flow system in the Mitaki river basin, Mie prefecture

宮岡 邦任<sup>1\*</sup>

MIYAOKA, Kunihide<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 三重大学教育学部

<sup>1</sup>Faculty of Education, Mie University

### 1. はじめに

水道水源を地下水に依存している自治体にとって、将来の地球温暖化、土地利用の変化などによる環境変化による地下水の物理・化学的特徴に何らかの変化が生じた場合、水道行政に大きな影響をおよぼす可能性がある。四日市市における上水は、その多くを地下水に依存しており、現在設置されている水道水源井の周辺では土地利用が大きく変化している地点もあり、将来の地下水の物理化学的变化が生じた場合を想定した現時点での環境実態と水道水源井に到達するまでの地下水の流動形態を把握しておくことは、きわめて重要な課題である。本研究は、四日市市内に設置されている水道水源井の中では最も取水量が多い、三滝川流域における地下水流動形態について明らかにし、涵養域を推定することを目的としている。

### 2. 研究方法

流域内において、三滝川の上流から下流にかけておよび主な支流について河川水の測水と採水を行った。また、地下水については四日市市の所有する水道水源井、民家の井戸、農業用井戸を対象に、測水と採水を行った。現地では電気伝導度、pH、水温を測定し、開放井戸については水位も測定した。また、水質分析用に250mlの採水を行った。これらの調査は夏季(2010年8月)および冬季(2010年12月)に実施した。

採水した試料については、溶存イオン濃度および酸素・水素安定同位体について分析を行った。

### 3. 地形地質と土地利用形態

研究対象流域を流れる本流の三滝川は、鈴鹿山脈の武平峠を源流とした延長24.375kmの河川である。上流部は扇状地性の地形を呈しており、この地域の北側の朝明川流域との流域界は目立った丘陵地が存在せず、はっきりしない。河川左岸側の中流部より下流にかけての丘陵地は、安芸層群が分布している。丘陵地の分布域から、流路は南東方向に大きく変わり、河床勾配も流域内では最も急になる。下流域は丘陵地に挟まれており、勾配は非常に緩くなっている。右岸側丘陵地にも安芸層群が広く分布している。上流部は農地が広がっているが、下流域は宅地化が進んでおり、特に下流部の丘陵地でその傾向が強くなっている。

### 4. 結果及び考察

地下水面等高線の分布をみた結果、本地域の浅層地下水は地形の形状に沿って流動しており、中流域では地質の影響も受けて流動していることが考えられた。また、周辺部丘陵地からも河川に向かって地下水の流動があることが確認できた。これらの異なる地下水流動系は、電気伝導度の分布からも確認することができ、流動系によって水質が異なることが考えられた。さらに、酸素・水素安定同位体比からそれぞれの地下水流動系の涵養域について検討した結果、本流域における地下水流動系と涵養域は、鈴鹿山脈東麓を涵養域とする滞留時間の長い地下水流動系と、若干下流部を涵養域とする相対的に滞留時間の短い地下水流動系、周縁部丘陵地を涵養域に持つ比較的滞留時間の短い地下水流動系の3つの流動系が存在することが考えられた。

キーワード: 三滝川, 地下水流動系, 水文地質, 涵養域, 水道水源井

Keywords: Mitaki river, groundwater flow system, hydrogeology, recharge area, drinking water source well

## バングラデシュ・シヨナルガオにおけるヒ素汚染地下水帯水層堆積物中のヒ素の化学形態 Chemical forms of arsenic in the arsenic polluted groundwater aquifer sediment in Sonargaon, Bangladesh

岡林 克樹<sup>1</sup>, 益田 晴恵<sup>1\*</sup>, 三田村 宗樹<sup>1</sup>, 前田 俊介<sup>1</sup>

OKABAYASHI, Katsuki<sup>1</sup>, MASUDA, Harue<sup>1\*</sup>, Mitamura Muneki<sup>1</sup>, Maeda Shunsuke<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 大阪市立大学大学院理学研究科

<sup>1</sup> Graduate School of Science Osaka City University

1990年代に出現が報告されたヒ素汚染地下水による健康被害はアジアを中心に世界各国で今も深刻である。ヒ素汚染地下水の形成機構に関して最も受け入れられている仮説は次のようなものである。堆積物の源岩中にあるヒ素を含む硫化物が表層環境で溶解し、同時に形成された酸化鉄や酸水酸化鉄に表面吸着し、下流に運搬されて帯水層堆積物に固定される。その後、地下の生物化学的作用により地下水が還元になり、それに伴い酸化鉄や酸水酸化鉄が分解し、担体を失ったヒ素が地下水に溶出する。しかし、この定説で説明できない多くの例外が報告されている。最近の研究では、黄鉄鉱、黒雲母や緑泥石などが化学的風化作用によって分解されることでヒ素が溶出するという提案もされている。ヒ素汚染地下水の被害対策には、ヒ素汚染地下水の形成メカニズムを明らかにすることが本質的課題である。本研究では、ヒ素汚染地下水の帯水層堆積物でヒ素の担体を特定し、深度に伴う担体の変化を観察した。

本研究対象地域は世界で最大の被害が知られているガンジスデルタに位置するバングラディッシュのシヨナルガオ地域である。ここは古ブラマプトラ川流域で、赤色の更新世砂質堆積物からなる台地と、完新世の氾濫原堆積物の境界に位置している。ヒ素汚染地下水は完新世堆積物から成る帯水層中に形成され、下位の更新世粘土層を不透水層としてその下位にある台地と同じ堆積物から成る更新世の地下水にはヒ素汚染は見られない。本研究では、この地域で最高のヒ素濃度を示した井戸の直近で2010年に約38mのボーリング掘削を行い、試料を採取した。この地点では粘土層が欠如しており、地下水帯水層である2つの砂層が直接接している。また、地下水環境は好氣的であり、涵養が活発であることがわかっている。ボーリングで採取した堆積物試料は、すぐに脱酸素剤と一緒に袋に詰めて減圧し日本に持ち帰り、研究室で凍結乾燥を行い保管した。乾燥後の試料について、粉末X線回折(XRD)で主要鉱物組成、蛍光X線分析(XRF)により主成分と微量成分の化学組成を分析した。また堆積物中のヒ素の担体を特定し、深度ごとの変化をとらえるために、アルカリ融解法で堆積物に含まれる総ヒ素濃度を水素化物発生原子吸光分光光度計(HG-AAS)で測定した後、最も標準的な逐次段階抽出法であるBCR法により、炭酸塩鉱物や砕屑性鉱物粒子の表面にある酸可溶性態、酸化鉄や酸水酸化鉄の分解に伴って溶出する還元形態、有機物態、珪酸塩鉱物や硫化物の内部にある難溶性態のヒ素と他の金属元素を抽出して誘導結合プラズマ質量分析装置(ICP-MS)により定量した。また卒業研究(岡林, 2010)に示した2004年に採取した試料のX線吸収微細構造(XAFS)の結果を本研究の比較に用いた。

堆積物は最上位4mの埋土の下はほぼ全体が粗粒から細粒の砂質堆積物であり、石英、長石を主成分として、黒雲母、角閃石、緑泥石、針鉄鉱、方解石を含んでいる。また主成分化学組成は、SiO<sub>2</sub>が60-80wt%、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>が10wt%、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>が2-5wt%、Na<sub>2</sub>Oが2-5wt%、K<sub>2</sub>Oが2-4wt%、CaOが1-3wt%であった。埋土を除けば、深度によらず、鉱物組成や化学組成に大きな変化は見られなかったが、深度10-15mでのみ主要元素のFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>やMgOと微量元素のCoやNiのwt%が高くなっていた。アルカリ融解による堆積物に含まれる総ヒ素濃度はほとんどの深度で数-10mg/kgであったが、6m, 14m, 24m, 35mで20mg/kgの高い濃度が測定された。逐次段階抽出法で得られた各段階のヒ素の量は、0.1-1.0 mg/kg, 0.2-1.1 mg/kg, 0.5-0.9 mg/kg, 数-20 mg/kgであり、ほとんどのヒ素が難溶性として存在していた。第一段階と第三段階ではどの深度でもあまり変わらない濃度であったが、第二段階では3.8mと35mで4.3 mg/kgや6.9 mg/kgと、わずかに高い濃度のものがあつた。前者は地下水位が季節変動する深度、後者は下位の帯水層との接触部近傍である。これらの深度では酸化的環境が出現しやすいために、酸化物に伴ってヒ素濃度が高くなると推定される。有機物態に分類される第三段階溶出液には、緑泥石に由来すると考えられるMg, FeとAlの溶出に緩やかな正の相関が見られる。したがって、ここで溶出するヒ素は有機物の分解によるものではなく、緑泥石がわずかに分解することによって溶出していると推定される。以前に行ったμ-XRFとXAFSの結果から緑泥石がヒ素の担体であることが示されているが、本研究の結果はそれと整合的である。

以上の結果から、調査地域のヒ素汚染地下水帯水層の堆積物においては、大部分のヒ素は難溶性である緑泥石に存在しており、緑泥石の分解によってヒ素が溶出することが裏付けられた。

キーワード: ヒ素, 緑泥石, 逐次段階抽出

Keywords: arsenic, chlorite, speciation

## バングラデシュ, ショナルガオ地下水涵養域におけるヒ素汚染地下水形成過程 Formation process of Arsenic contaminated groundwater at recharge area in Sonargaon, Bangladesh

前田 俊介<sup>1\*</sup>, 益田 晴恵<sup>1</sup>, 三田村 宗樹<sup>1</sup>, 岡林 克樹<sup>1</sup>, Ashraf Ali Seddique<sup>2</sup>

MAEDA, Shunsuke<sup>1\*</sup>, MASUDA, Harue<sup>1</sup>, Muneki Mitamura<sup>1</sup>, Katsuki Okabayashi<sup>1</sup>, Ashraf Ali Seddique<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 大阪市立大学大学院理学研究科, <sup>2</sup> ジェソール科学技術大学

<sup>1</sup> Faculty of science, Osaka city university, <sup>2</sup> Jessore Science and Technology University

ガンジスデルタ流域は世界最大のヒ素汚染地下水出現地域である。この地域の地下水ヒ素汚染は還元的地下水環境で発生することが多く、発生メカニズムは、微生物活動による地下水の還元に伴う鉄酸化鉱物の分解とそれに吸着したヒ素の溶出だと信じられてきた。しかし、バングラデシュのダッカ東部に位置するショナルガオでは、地下水ヒ素汚染は活発な地下水涵養域における好氣的地下水環境で発生しており、従来仮説では説明できない。本地域のヒ素の担体の一つは緑泥石であることは明らかにされている。私たちは、昨年の本会で、2010年12月に採水した活発な涵養域の井戸水と、最もヒ素濃度の高い地点で-5m, -10m, -15mの3深度でボーリング掘削をして採水した井戸水を分析して得られた結果に基づいて、ヒ素汚染地下水が-5?-10mの完新世帯水層の最上部で起っており、それは緑泥石の化学的風化作用に起因する可能性が高いことを報告した。この地域の地下水は、-5mの帯水層最上部において、すでに $0.4 \text{ mg/L}$ のヒ素を含んでおり、-10?-15mでは $0.8 \text{ mg/L}$ 、-24mでは $1.1 \text{ mg/L}$ を超えている。その後、鉱物の化学的風化作用が、地下水水質にどのような影響を与えているのかを定量的に議論するために、地下水ともっとも化学的風化作用を受けやすい斜長石とヒ素の原因鉱物である可能性が最も高い緑泥石の希土類元素をICP-MSを用いて定量分析し、泥岩の値を用いて規格化した。その結果を報告する。

地下水試料中に含まれる希土類元素パターンから、全ての試料に正のEu異常が確認できた。また、多くの試料で負のCe異常が確認できた。深度の異なる試験井戸から得られた水試料から、より重希土類元素に富む試料でヒ素の濃度が高くなるという結果が得られた。堆積物中の緑泥石と長石に含まれる希土類元素濃度は、緑泥石はすべての希土類元素が高濃度でほぼ一定の濃度パターンを示すのに対し、長石はユーロピウムの濃度のみ高く、その他は緑泥石に比べると少なかったが、軽希土類元素を濃縮し重希土類元素が少ないパターンを示した。この地域の地下水の主成分化学組成はCa-(Mg)-HCO<sub>3</sub>型である。CaとMgはそれぞれ、斜長石と緑泥石の主成分である。これらの鉱物の化学的風化作用が、本調査地域の地下水の主成分化学組成をも決定する要因であることが裏付けられた。

地下水に見られる正のEu異常、負のCe異常とヒ素濃度に相関はない。地下水の正のEu異常は斜長石の溶解反応が盛んであることを示している。しかし、斜長石の溶解はヒ素濃度とは無関係である。Ceは酸化的環境下では3価から4価へ容易に酸化し、酸化沈殿物として地下水から取り除かれる。したがって、負のCe異常は、帯水層深部に向かって、地下水の還元が起っていることを示している。しかし、ヒ素濃度とは関係を持たないことは、本地域の地下水へのヒ素の溶出は地下水還元に伴うものではないことを示している。本研究で行った希土類元素の分析結果は、化学的風化作用による緑泥石の調和溶解がヒ素溶出の原因であるという私たちの主張を支持している。

この地域の地下には、高濃度のヒ素を含む完新世の砂層からなる帯水層の下位に帯水不透水層である粘土層を挟み、ヒ素を含まない更新世の砂層からなる帯水層がある。しかし、もっとも高濃度のヒ素汚染地下水が出現する本研究の試験掘削地点の地下では不透水粘土層が存在せず、完新世の砂層と更新世の砂層が直接接していた。更新世帯水層からの灌漑用水の過剰な汲み上げにより、負圧の伝播が起りやすい不透水粘土層の欠如部分で、鉛直方向に好氣的地下水が急速に浸透することにより、鉱物の化学的風化作用が促進され、それに伴ってヒ素の溶出が起ったのであろう。

キーワード: ヒ素汚染, 地下水, バングラデシュ, 緑泥石, 風化, 希土類元素

Keywords: arsenic contamination, groundwater, Bangladesh, Chlorite, weathering, rare earth element

## 熊本地域における地下水中の硝酸性窒素の起源および流動に伴う挙動の解明 Fate and source of nitrate contamination in the groundwater along its flow in Kumamoto region, using nitrate isotopes

徳永 貴大<sup>1\*</sup>, 嶋田 純<sup>1</sup>, 細野 高啓<sup>2</sup>, 中田 晴彦<sup>1</sup>, 利部 慎<sup>1</sup>, 小野 昌彦<sup>1</sup>, 折式 田崇仁<sup>1</sup>

TOKUNAGA, Takahiro<sup>1\*</sup>, SHIMADA, Jun<sup>1</sup>, HOSONO, Takahiro<sup>2</sup>, Haruhiko Nakata<sup>1</sup>, KAGABU, Makoto<sup>1</sup>, ONO, Masahiko<sup>1</sup>, Takanori Orishikida<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 熊本大学自然科学研究科, <sup>2</sup> 熊本大学大学院先導機構

<sup>1</sup> Graduate School of Science and Technology, Kumamoto University, <sup>2</sup> Priority Organization for Innovation and Excellence, Kumamoto University

熊本地域は阿蘇山の噴火により堆積した透水性の良い火山性の帯水層が発達している。熊本市は約70万人の市民の水道水源を、ほぼ100%地下水で賄っており、地域にとって地下水は重要な水資源とみなされている。しかしながら、地下水中の硝酸性窒素濃度が年々上昇しており、近年では水道水質基準である10mg/lを超える地下水も一部で確認されるようになってきた。しかし、熊本地域における地下水中の硝酸性窒素が地下水流動システムの中でどのようなプロセスを経てきたのか、また詳細な硝酸性窒素の起源について、いまだ明らかにされていない点が多い。将来の持続的な地下水利用を考える上で、これらのプロセスの解明が重要である。

ゆえに、これまで当該研究地域でまだ試みられてこなかった硝酸中の窒素および酸素安定同位体を合わせて用い、熊本地域全域における地下水中の硝酸性窒素の起源を明らかにすること、および脱窒のメカニズムを把握し、地下水流動を踏まえたうえでの硝酸性窒素の挙動を解明することを目的に研究を行った。

本研究地域は涵養域となる台地部に畑地および畜産産業が卓越しており、施肥による肥料成分の地下水への浸透および畜産排泄物による窒素負荷が懸念される。低地部、河川沿いには水田が広がり地下水の涵養に大きな役割を担っている。特に白川中流域の水田は一般的な減水深の3~10倍の透水性を持つため、灌漑水が地下水へ大量に流入していると考えられている。

地下水を2011年1~3月に浅層地下水15地点、深層地下水53地点、7月に浅層地下水31地点、深層地下水19地点、10~11月に浅層地下水21地点、深層地下水57地点、河川水・湧水を2011年4月にそれぞれ15、27サンプル、7月に14、30サンプル採水を行った。

浅層地下水の硝酸イオン濃度は最も高い地下水で44.0mg/l、平均10.4mg/lであった。また、深層地下水では最も高い地下水で72mg/l、平均11.8mg/lであった。地表からの窒素負荷が大きいと考えられる涵養域にあたる地下水の硝酸イオン濃度は全体的に高い傾向を示した。大部分の地下水の窒素安定同位体比が2~7‰の範囲に存在し、起源物質である畜産排泄物や下水試料等の窒素安定同位体比と比較すると、硝酸性窒素の主な起源が無機肥料である可能性が高いと示唆され、これまで報告されていた畜産排泄物が主要な起源と推定された研究とは異なる結果となった。

地下水の硝酸中の窒素、酸素安定同位体比の結果から浅層地下水、深層地下水ともに脱窒現象が確認され、全体的にみると沿岸部の熊本平野域の地下水で脱窒が生じたことが明らかになった。本研究地域における地下水の脱窒割合を推定するため、硝酸イオン濃度および窒素安定同位体比から同位体濃縮係数を決定し脱窒率を算出すると、流動に伴い脱窒した割合が高くなり、沿岸域の地下水では脱窒率が90%を超える地下水が多く存在することが推定された。

浅層地下水、深層地下水ともに地下水流動に伴い地下水中の硝酸イオン濃度が減少がみられた。その原因として沿岸付近の地下水では脱窒が生じたことで硝酸性窒素濃度が減少している事実が顕著に把握され、酸化的環境で同位体比の値からも脱窒が生じていないと推測される白川中流域から江津湖にかけての地下水流動系では、白川系灌漑水の混入による希釈の影響が示唆された。白川河川水は阿蘇中央火口丘に涵養された降水が起源であるため、比較的軽い酸素・水素安定同位体比となることから、これら同位体比を白川の涵養水の地下水への影響度合いを評価するための指標とし、白川系河川水と涵養域の地下水を端成分として白川系河川水の混入率を算出すると、およそ4~7割程度地下水に混入していると考えられた。水道水源をこの地下水流動系の地下水を使用していることを考慮すると、今後持続的に地下水資源を利用していくためには白川河川水との上手な付き合い方をしていく必要があると考えられる。

キーワード: 地下水汚染, 硝酸性窒素, 硝酸同位体, 脱窒, 窒素起源

Keywords: Groundwater contamination, NO<sub>3</sub>-N, Nitrate isotopes, Denitrification, Source of nitrate

## 沿岸域における地下温度鉛直プロファイルと推定される深部地下水流動-北海道北部、幌延地域の事例- Subsurface vertical temperature profile and estimated deep groundwater flow in the coastal zone at Horonobe area

越谷 賢<sup>1\*</sup>, 井川 怜欧<sup>1</sup>, 丸井 敦尚<sup>1</sup>, 萩原 育夫<sup>2</sup>, 町田 功<sup>1</sup>

KOSHIGAI, Masaru<sup>1\*</sup>, IKAWA, Reo<sup>1</sup>, MARUI, Atsunao<sup>1</sup>, HAGIWARA, Ikuo<sup>2</sup>, MACHIDA, Isao<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 産業技術総合研究所, <sup>2</sup> サンコーコンサルタント株式会社

<sup>1</sup> Geological Survey of Japan, AIST, <sup>2</sup> Sunco Consultants Co., Ltd.

沿岸域における地下水流動は、塩淡水境界の形状・変動に大きく影響される。塩淡水境界は大きく2種類に区分され(丸井・安原, 1999), 流動する淡水系地下水によって形成される動的な塩淡水境界は、水理ポテンシャルの影響を受けて海岸線よりも沖合に位置することがあり、これに沿って湧出する海底湧出地下水が国内外において確認されている(e.g., Church, 1996)。一方で、長期的な海水準変動に伴う地下水流動系の変遷によって、海底下に残留したと推定される淡水系地下水も存在する(e.g., Groen et al., 2000)。この事例における淡水塊の形成プロセスは、次のように考えられている。最終間氷期最盛期には沖合までが陸域となり、広範囲に淡水地下水が流動していたが、その後の急激な海水準上昇に伴い堆積した低透水性の泥質層によって塩水浸入が抑制され、沿岸海底下に塩濃度の低い地下水が取り残されたというものである。北海道幌延町の沿岸域においては、これまでに大深度ボーリングを含む調査掘削や広域の物理探査が実施され、陸域から沖合に連続する淡水・汽水と推定される地下水の存在が明らかとなってきた(丸井ほか, 2011)。その分布は、最大で沖合に5km、海底下の深度200~300m程度に及ぶ。ただし、原位置における地下水の流速や流向に関わる情報はなく、地下水環境の形成プロセスについては不明な点が多かった。そこで、我々は研究地に掘削したDD-1孔(深度1,004m)において、地下温度を深度方向に連続的に測定し、得られた地下温度の鉛直プロファイルから、深部地下水の流動状況について考察した。地下温度の鉛直プロファイルから推定される深部地下水の流動は、深度275m付近を境に、上位の相対的に流動の活発な区間、下位の地下温度から識別できない程に流動の極めて緩慢な区間に区分された。研究地における間隙水の品質は深度500mを境に大きく異なり、深度500m以上には滞留時間の異なる淡水系地下水の分布が推定されている(Machida et al., 2011)。地下温度から推定される地下水流動は現在の流動状況をより反映したものであることを考慮すると、深度275m付近より下位に分布する淡水系地下水は過去に取り込まれ停滞するものが多くを占めることが考えられる。すなわち、研究地で認められる地下水環境は、現在の地下水流動のみでなく、長期的な海水準変動に伴い変化してきた古水文履歴を強く反映したものであると示唆される。また、海水準変動は地球規模の地学現象であり、同様の水文地質学的な特徴を有する地域において一般に認められる可能性が考えられる。

謝辞: 本研究は、経済産業省よりの委託研究「沿岸域塩淡水境界・断層評価技術高度開発」の研究成果の一部である。本研究を行うにあたり、幌延町と日本原子力研究開発機構幌延深地層研究ユニットの関係各位に大変お世話になった。現地調査においては、産業技術総合研究所の内田洋平博士にご指導頂くとともに、アーストラストエンジニアリング株式会社にご助力を頂いた。ここに記して謝意を表します。

文献:

Church, T. M. (1996) An underground route for the water cycle. *Nature*, 380, 579-614.

Groen, J., Velstra, J. and Meesters, A. G. C. A. (2000) Salinization processes in paleowaters in coastal sediments of Suriname: evidence from d37Cl analysis and diffusion modeling. *Journal of Hydrology*, 234, 1-20.

Machida, I., Ikawa, R., Koshigai, M., Nishizaki, S., Ito, N. and Marui, A. (2011) Vertical Profile of Pore Water Chemistry to 1000m Depth at a Coastal Area. Abstracts with Programs, GSA Annual Meeting & Exposition, 43, 287.

丸井敦尚・内田利弘・楠瀬勤一郎・古宇田亮一・町田 功・上田 匠・井川怜欧・横田俊之・越谷 賢・安藤 誠・伊藤成輝・吉澤拓也・小原直樹(2011) 沿岸域塩淡水境界・断層評価技術高度化開発平成22年度成果報告書. 産業技術総合研究所, 433p.

丸井敦尚・安原正也(1999) 塩水-淡水境界に関わる地下水流動研究. *日本水文科学会誌*, 29, 1-12.

キーワード: 深部地下水, 沿岸域, 地下水流動, 地下温度, 堆積岩, 幌延地域

Keywords: Deep groundwater, Coastal area, Groundwater flow, Subsurface temperature, Sedimentary rocks, Horonobe area

# 新潟県魚野川流域における冬季期間の水質総合解析 Water quality synthesis analysis at period of winter in Niigata Prefecture Uono river basin

森本 洋一<sup>1\*</sup>, 小寺 浩二<sup>2</sup>  
MORIMOTO, Yoichi<sup>1\*</sup>, KODERA, Koji<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 法政大・院, <sup>2</sup> 法政大・地理  
<sup>1</sup>Hosei univ., <sup>2</sup>Hosei univ.

## 1 はじめに

新潟県の中越地方に位置する魚野川は新潟県と群馬県の県境である谷川岳を源頭に持つ一級河川であり信濃川に合流する。流域全体が豪雪地帯として知られている。そのため、春先から初夏にかけて融雪出水が生じ、河川水質を変化させる要因となっている。本稿では2009年から行ってきた冬季週1観測結果と2011-12年冬季に行っている日単位、時間単位の観測結果をもとに、同流域における水質変動( EC や主用溶存成分) や積雪深変動、雪質変動について総合的に考察し、冬季期間の水質変動や形成のメカニズムについて明らかにすることを目的とした。

## 2 結果と考察

魚野川本流下流部における積雪期の水質経時変化をみると EC の日変動が大きく、最大で 153  $\mu S/cm$ 、最小で 94  $\mu S/cm$  と 59  $\mu S/cm$  の開きがある。川口橋より上流の堀之内橋で国交省が観測している水位データと EC の変動をみると、水位が上昇しているときに EC 値が希釈効果により低下していることが(15~18日)で見られるが、14日は水位が上昇しているにもかかわらず EC 値の低下せず、日単位での周期的な変動をしている。上流部で合流する流域内最大の支流破間川の影響が考えられ、破間川中流部におけるダム放流の影響と思われる。(図2)融雪期(破間川合流前の魚野川本流青島橋)では EC が徐々に低下し、pH は4月2日~6日にかけて急激に低下した。EC の最大値の 168  $\mu S/cm$  (2月27日)から最小値の 56  $\mu S/cm$  (4月23日)と 112  $\mu S/cm$  の低下がみられた。4月19日~20の夜から早朝にかけて EC の急激な上昇がみられ、最大値の 150  $\mu S/cm$  から2時間で 75  $\mu S/cm$  まで減少した。(図3)

積雪中の EC 値と溶存成分の関係をみると、Na や Cl の相関が比較的良好く、融雪時の河川水においても似た結果が得られた。これらの濃度は Mg や Ca の濃度よりも高いため、河川 EC 値の急激な上昇の要因は、雪に起因する Na や Cl 成分と思われる。(図4・図5)

## 4 おわりに

3回分の冬季期間の現地観測と水質分析結果を利用し、GIS を用いて魚野川流域の物質収支・水収支を理解し、自然や人為的影響といった複合的な要因に起因している河川水質形成について要素ごとに定量的に明らかにしたい。

## 参考文献

森本洋一・小寺浩二(2011): 河川水質に積雪・融雪水が及ぼす影-新潟県魚野川流域を事例に-, 日本地理学会 2011 年度秋季学術大会発表要旨

キーワード: 魚野川流域, 水質総合解析, 水質変動, 日変動, 時間変動

Keywords: Uono river basin, water quality synthesis analysis, water quality variation, diurnal variation, secular variation

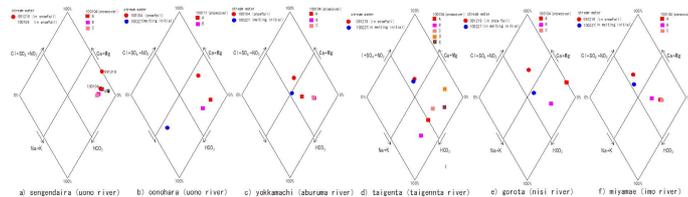


Figure 1 Keydiagram (snowcover - streamwater)

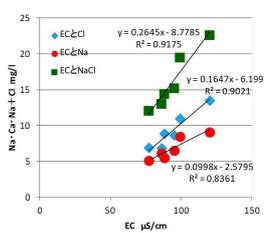


Figure4 EC and correlation of Cl, Na, and NaCl

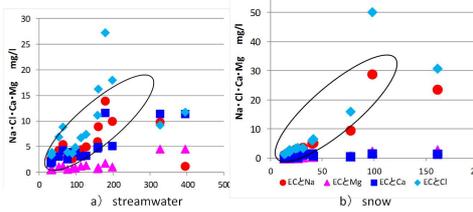


Figure5 Correlation of EC and dissolved constituent

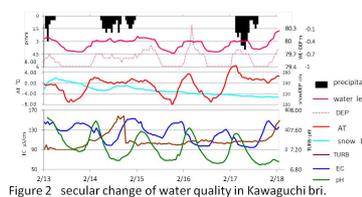


Figure 2 secular change of water quality in Kawaguchi br. (110213-110218)

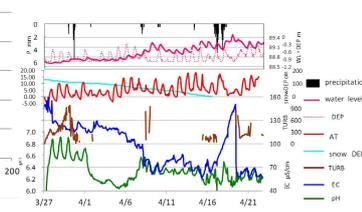


Figure 3 secular change of water quality in Aoshima br.

## 分布型水文モデルによる地下水涵養量および窒素負荷量に及ぼす人間活動の影響評価

### Evaluation of effect of human activities on groundwater recharge and nitrogen load, using distributed hydrological model

清水 裕太<sup>1\*</sup>, 小野寺 真一<sup>1</sup>

SHIMIZU, Yuta<sup>1\*</sup>, ONODERA, Shin-ichi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 広島大学大学院総合科学研究科

<sup>1</sup> Graduate School of Integrated Arts and Sciences, Hiroshima University

近年では、気候変動が引き起こす降水量の変化によって洪水や渇水が生じやすくなり、地表水の水資源はさらに不安定になることから、相対的に地下水の重要性が高まっている。このような中、畑地では施肥にともなう地下水の硝酸性窒素汚染が生じ、地下水涵養機能を持つ水田の減少や、不浸透域の増加といった土地利用の変化による地下水涵養量の減少も生じており、人間活動の増大による地下水への影響が懸念されている。これに対して、流域内の不均一性を考慮した地下水への影響を評価することができる分布型水文モデルは、近年の数値地理情報の整備によって精度良く見積もることが可能となってきた。そこで本研究では、分布型水文モデル SWAT を用いて流域内の土地利用の変化が地下水涵養量および窒素負荷へ及ぼす影響を評価することを目的とする。対象地域は、広島県東部を流れる一級河川芦田川水系高屋川流域 (141km<sup>2</sup>) とし、1976年と2006年の2時期を比較する。SWATによって推定された1976年と2006年の地下水涵養量は、北部の上流域の山地や南東部の台地での涵養量はさほど大きな変化は確認できなかったが、中流域から下流域にかけての平野部での涵養量の減少が確認された。この原因としては、1976年から2006年の間に地下水涵養機能を持つ水田が減少し、不浸透域を持つ市街地が増加したことから、涵養量が減少したと考えられる。また、窒素負荷については、農地面積の減少にともなって農地からの負荷は減少傾向であったが、生活排水処理整備の遅れによる人間からの負荷が増加傾向であることが確認された。

キーワード: 人間活動, 地下水涵養, 窒素負荷, 分布型水文モデル

Keywords: Human Activities, Groundwater Resharge, Nitrogen Load, Distributed Hydrological Model

## 複数のトレーサーを用いた潮間帯における海底地下水の分離 Separating Submarine Groundwater Discharge by using multi tracers in tidal zone.

吉川 昌志<sup>1\*</sup>, 小野寺 真一<sup>2</sup>, 齋藤 光代<sup>4</sup>, 大西 晃輝<sup>1</sup>, 清水 裕太<sup>3</sup>

YOSHIKAWA, Masashi<sup>1\*</sup>, ONODERA, Shin-ichi<sup>2</sup>, SAITO, Mitsuyo<sup>4</sup>, ONISHI, Koki<sup>1</sup>, SHIMIZU, Yuta<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 広島大学総合科学研究科, <sup>2</sup> 広島大学総合科学部, <sup>3</sup> 広島大学, <sup>4</sup> 愛媛大学沿岸環境科学研究センター

<sup>1</sup>The graduated school of integrated arts and science, Hiroshima University, <sup>2</sup>Faculty of integrated arts and science, Hiroshima University, <sup>3</sup>Hiroshima University, <sup>4</sup>Center for marine environmental studies, Ehime University

沿岸域において、海底地下水流出 (SGD) が河川に匹敵する重要な栄養塩供給源となっており、その流出傾向は地域によって多様であることが近年多く報告されている (例えば、Slomp and Van Cappelen, 2004)。また、SGD を見積もる手法もこれまで多く開発されてきた (例えば、Taniguchi and Fukuo, 1993; Burnett and Dulaiova, 2003)。また、SGD にも淡水性 SGD (FSGD) と、海水の再循環である RSGD の存在が明らかとなっており、条件によっては RSGD 由来の栄養塩生産量が FSGD や河川の供給量を上回る事例も報告されている (例えば、Santos et al. 2009)。しかしながら、RSGD と FSGD を正確に分離してその流量や、それに伴う栄養塩供給量を見積もる試みは、未だ十分なされていない。そこで、本研究では Burnett and Dulaiova (2003) 及び Burnett et al. (2003a) で考案された <sup>222</sup>Rn 収支を用いた SGD 推定と、従来行われてきたトレーサーによる推定を組み合わせ、各 SGD を分離しつつその流量と、栄養塩供給量を見積もることを目的とした。

本研究は広島県江田島市北側の沿岸地域で行った。本地域は、半閉鎖性海域である瀬戸内海に位置する花崗岩質の島である。また年間降水量は約 1100mm 程度で、河川からの流出が 10% 程度、地下水からの流出が 20-40 % を占める (小野寺, 2008)。また、本地域では潮位差が大きく、本研究では最大 2m の潮位差が観測された。

本研究では、Burnett and Dulaiova (2003) で考案された RAD-7 (Durrige 社製) を用いた <sup>222</sup>Rn の連続観測による SGD 推定法を使用した。また、同地点で一時間毎に表層海水の水試料を採取した。また、海水中の流速はドップラー流速計 (WH-ADCP モニター; Teledyne RD instruments 社製) で測定した。試料はシリンジフィルターでろ過し、採取後は現場で保持している間はクーラーボックスで冷蔵状態を保ち、観測が終了した後は直ちに冷凍保存した。水試料は実験室に持ち帰り、イオンクロマトグラフィーで溶存陰イオン、フローインジェクション式分光光度計 (SwAA, BLTEC 社製) で栄養塩を定量分析した。

解析は複数のトレーサーを用いて行った。複数のトレーサーを用いた SGD の解析は今までにいくつか行われている (例えば、Kim et al., 2005) が、それらはほとんど複数のトレーサーで FSGD を解析している。本研究では、<sup>222</sup>Rn, Cl<sup>-</sup>, SiO<sub>2</sub>-Si の収支を計算し、FSGD と RSGD を分離しつつ、それぞれの流量、栄養塩フラックスを見積もった。

分離の結果、FSGD は  $-2.1 \times 10^5$  (m s<sup>-1</sup>) から  $1.5 \times 10^5$  (m s<sup>-1</sup>) と比較的安定しており、対照的に RSGD は  $-8.1 \times 10^5$  (m s<sup>-1</sup>) から  $12.3 \times 10^5$  (m s<sup>-1</sup>) と大きく変動していた。流量を合算して、その値が正の値をとる場合はそのほとんどを RSGD が占めていた。ただし、負のフラックスになる場合は、流出が自体ないので、FSGD がトータル流出量の 100% を占める場合もあった。傾向としては基本的に潮汐と連動して、上げ潮時に循環期間の短いと考えられる RSGD が地下に侵入し、ポンピングによって FSGD はやや増加した。また下げ潮時に満潮時に地下侵入したと考えられる RSGD が確認できた。また、FSGD と RSGD では、RSGD の方が 10 倍以上多く流出していた。結果を Burnett and Dulaiova (2003) で用いられた手法で求めたトータルのフラックスと比較したところ、Burnett and Dulaiova (2003) のフラックスはほとんどが FSGD に反応していることが分かった。よって、海水の再循環などが発生しやすい沿岸潮間帯においては、より感度の良い結果が得られる可能性が示唆された。

キーワード: <sup>222</sup>Rn, 潮間帯, 再循環海水, 海底地下水流出

Keywords: <sup>222</sup>-Rn, tidal zone, recirculated seawater, submarine groundwater discharge

## 瀬戸内海における海底地下水流出に伴う堆積物中の栄養塩シグナル Signals of sediment nutrients affected by submarine groundwater discharge in Seto Inland Sea Japan

金 広 哲<sup>1\*</sup>, 小野寺 真一<sup>1</sup>, 齋藤 光代<sup>2</sup>, 清水 裕太<sup>1</sup>, 郭 新宇<sup>2</sup>, 天野 敦子<sup>3</sup>, 佐藤 高晴<sup>1</sup>

JIN, Guangzhe<sup>1\*</sup>, ONODERA, Shin-ichi<sup>1</sup>, SAITO, Mitsuyo<sup>2</sup>, SHIMIZU, Yuta<sup>1</sup>, Xinyu Guo<sup>2</sup>, AMANO, Atsuko<sup>3</sup>, SATO, Takaharu<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 広島大学総合科学研究科, <sup>2</sup> 愛媛大学沿岸環境科学研究センター, <sup>3</sup> 独立行政法人産業技術総合研究所

<sup>1</sup>Hiroshima University, faculty of Integrated arts and science, <sup>2</sup>Center for marine environmental studies, Ehime University,

<sup>3</sup>Geological Survey of Japan, AIST

Submarine groundwater discharge (SGD) is an important source of new nutrients, trace elements, and contaminants to the coastal ocean in many parts of the world. Several studies showing that SGD makes a significant contribution to the nutrient budget of coastal waters. As the importance of SGD, it has led to growing research interest in this phenomenon. The nutrient interaction process and the signals of sediment in this discharge process as well as the long term effect of nutrient discharge through SGD are unknown. Our research is aim to find possible signals of sediment nutrient characteristic affected by the submarine groundwater discharge.

The Seto Inland Sea is the largest semi-enclosed coastal sea area in Japan. The eutrophication incidents occurred in this area with most serious scale from the 1960s to 1970s. The contribution of nutrient discharge through SGD in some part of Seto Inland Sea area is focused by researchers. In order to determine the sediment nutrient characteristics in this area, we compared the vertical variance of Nutrient in the sediment and sediment pore water between a costal bay area (Kojima Bay) which the nutrient discharge pattern is dominant by surface water is charge and a semi-enclosed bay (Hiuchi-Nada) which the nutrient discharge pattern is dominant by submarine ground water discharge in Seto-Inland Sea, Japan.

Sediment Core samples were taken by piston sampler and by diving in the field trip in 2009 and 2010. The sediment samples were analysed for the pore water nutrient and sediment phosphorus nitrogen, carbon content. The dating data of the sediment core was also determined by <sup>137</sup>Cs and <sup>210</sup>Pb analysis. The sediment pore water was extracted by centrifugation for 30 min at 3500 rpm. The sediment phosphorus content in the sediment was determined using the methods of Aspila. Sediment carbon and sediment nitrogen content were analysed by CHN analyzer. The nutrient content in pore water samples were measured by spectrophotometry.

Kojima Lake (an artificial lake by enclosed inner part of the Kojima bay) has captured higher phosphorus in sediment (0.37-1.19 mg/kg) than nearby Bay area (0.42-0.62 mg/kg) and Hiuchi-Nada area (0.45-0.63 mg/kg) in Seto Inland Sea. On the other hand it did not show the significant variations with depth in the sediments in Kojima bay and Hiuchi-Nada area. Different from the affection by river discharge, SGD did not result in big variations in sediment N and P properties, Nutrient discharge through SGD may more obviously affect the pore water nutrient content which is considered an important pathway of SGD nutrient discharge. The results shows that both the PO<sub>4</sub>-P and total phosphorus concentrations in sediment pore water are comparable higher in Hiuchi-Nada sediment samples than the pore water samples in Kojima Bay area. As the SGD is an important way of discharge the nutrient into the coastal area. Also in Seto-Inland sea area, Onodera et al. (2007) reported that the coastal groundwater around the Seto Inland Sea is characterized by high phosphorus concentration. The pore water TN shows that the Hiuchi-Nada area has lower TN concentrations compare to the Kojima bay core samples. The relationship between N and P in the pore water shows significant difference trend between the two locations. Kojima bay area has high N:P ratios (average 322:1) and the values has been in increasing trend down core while Hiuchi-Nada area has a decreasing trend down core with relatively lower value (average 26:1). This may indicate nutrient of the pore water affected by different terrestrial resources between two locations rather than the different sediment accumulation process. The semi-enclosed bay sediment nutrient structure may have connection with submarine ground water discharge process reported by Saito et al. (2011) that provides a nutrient supply and water discharge affection.

Keywords: Sediment, Pore water, Submarine Groundwater Discharge, Phosphorus, Seto Inland Sea