

マジュロ環礁における堆積物酸性化 Sediment acidification on Majuro Atoll

*伊藤 理彩¹、服部 祥平²、吉田 尚弘²、高橋 嘉夫¹

*Lisa Ito¹, Shohei Hattori², Naohiro Yoshida², Yoshio Takahashi¹

1. 東京大学大学院 理学系研究科 地球惑星科学専攻、2. 東京工業大学 物質理工学院 応用化学系

1. Department of Earth and Planetary Science, School of Science, The University of Tokyo, 2. Department of Chemical Science and Engineering, School of Materials and Chemical Technology, Tokyo Institute of Technology

Soil acidification often occurs due to various factors such as NO_x and SO_x from anthropogenic combustion substances. In the process of rock weathering or nitrification, protons are also released which causes soil acidification. It is difficult to evaluate each factor independently in industrial countries, since the many factors are affected one another, which makes it difficult to evaluate each factor. On the other hand, it is relatively easy to discuss anthropogenic impacts and natural effects independently in the case of atoll, since atoll sediments are composed of bio-clastic sand such as foraminifera and coral that are made from calcium carbonate (CaCO_3), which exhibits simpler composition compared with other areas with more heterogeneous geology. Here, we investigated the degrees of acidity in Majuro Atoll, one of the atolls of Marshall Islands. In Majuro Atoll, human residence has lasted for about 2000 years, which is the longest history among atolls around the world (Yamaguchi et al., 2005, 2009). However, the traditional life style in the atoll has changed and more industrial products such as motor vehicles have been used after 20th century.

In this study, we focused on factors which have a possibility to change surface environment of reef islands in atoll in terms of both artificial and natural factors. We evaluated the correlation between the elements contained in the sediment and sediment pH at different depths. We also examined the mechanism to acidify the pH of the sediment.

Samples were taken at different depth of the sediments in both inland area and ocean side of each reef island which are named as Laura, Calalen, and Jelto. All the surface layers are black-colored and well-vegetated. The grain size is medium to fine sand.

We examined concentrations of major elements such as calcium (Ca) and magnesium (Mg) by XRF. Concentration of inorganic ions (NO_3^- , SO_4^{2-} , and NH_4^+) were measured by ion chromatography and absorption spectrophotometry, respectively. Concentration of organic acid was calculated by pH titration. Mineral composition of foraminifera, which is the main component of the sediment was examined by XRD. Porosity of foraminifera were calculated using X-ray micro-Computed Tomography (μ -CT) and Image J. Stable isotope of nitrogen (^{14}N and ^{15}N) and triple oxygen isotopes (^{16}O , ^{17}O , and ^{18}O) in nitrate contained in the sediment were measured by the denitrifier method (Hattori et al., 2016) to identify the origin of the nitrate. ^{13}C solid state Nuclear Magnetic Resonance (NMR) spectroscopy were used to identify the organic matter which was concentrated in the upper layer.

As a result, sediment pH decreased near the surface layer and the concentration of Mg decreased.

Mg-calcite fraction to total CaCO_3 (calcite + magnesian calcite (Mg-calcite)) of foraminifera also decreased near the surface. In contrast, the porosity of foraminifera, concentrations of NO_3^- , NH_4^+ , TOC, and organic acid increased in the upper layer, whereas concentration of SO_4^{2-} fluctuated and especially became higher in the lower layer which is close to the water-table. Therefore, SO_4^{2-} may be originated from seawater, which did not induce acidification of the sediment. According to NMR analysis, organic matter enriched in the upper layer was identified as fulvic acid. Both the concentrations of nitrate and organic acid as fulvic acid had high correlation with sediment pH in the range from pH 7.5 to 8.0.

Therefore, it is considered that both factors contribute to the acidification and dissolution of foraminifera

test in the upper layer. From the analysis of the stable isotopes, the average of $\Delta^{17}\text{O}$ was close to 0‰ over all the areas, which suggested that nitrate was produced by bacterial activities. Therefore, we can conclude that highly concentrated nitrate produced during the excess nitrification and subsequent release of proton during the process should be the main factor to acidify the sediments on Majuro Atoll.

キーワード：堆積物酸性化、環礁州島、硝化

Keywords: sediment acidification, reef island, nitrification

3種のモデル海洋細菌株により生成された難分解性溶存有機物の比較 Comparison of recalcitrant dissolved organic matter produced by three model marine bacterial strains

*後藤 周史¹、多田 雄哉²、鈴木 光次^{1,3}、山下 洋平^{1,3}

*Goto Shuji¹, Yuya Tada², Koji Suzuki^{1,3}, Youhei Yamashita^{1,3}

1. 北海道大学 大学院環境科学院, 2. 海洋研究開発機構, 3. 北海道大学 大学院地球環境科学研究所

1. Graduate School of Environmental Science, Hokkaido University, 2. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 3. Faculty of Environmental Earth Science, Hokkaido University

海洋溶存有機物 (Dissolved Organic Matter, DOM) は、全炭素量662 Pg Cの巨大な炭素リザーバーを構成する。海洋DOMの90%以上は、生物的に難分解なDOM (Recalcitrant DOM, RDOM) である。海洋におけるRDOMの生成・分解過程についての知見は少ないが、近年、海洋細菌によるRDOM生成機構“微生物炭素ポンプ”が提唱され、地球表層における炭素隔離機構としての重要性が示唆された。この概念によれば細菌の働きにより易分解性DOM (Labile DOM, LDOM) がRDOMへ変換される。微生物炭素ポンプの概念形成は、主に海洋細菌群集の培養実験から評価されたRDOM生成によりなされた。海洋細菌群集を用いた先行研究では、細菌種間のRDOMの生成効率の差や生成機構の違いは評価できず、微生物炭素ポンプの機構や制御要因の解明には至っていない。

そこで本研究では、既知のLDOMを添加した培養実験を複数種の細菌単離株について行い、培養中に生成された細菌由来DOMの炭素量および光学特性を分析することで、RDOMの生成効率や組成の細菌種間での異同を明らかにし、微生物炭素ポンプの機構や制御要因を解明することを目的とした。

細菌単離株は、Gammaproteobacteria綱に属する*Alteromonas macleodii* (*A. macleodii*) と *Vibrio splendidus* (*V. splendidus*)、Alphaproteobacteria綱に属する*Phaeobacter gallaciensis* (*P. gallaciensis*) を用いた。唯一の炭素源としてグルコース (1 mmol C L⁻¹)、さらに無機態窒素とリンを加えた人工海水を培養液として使用した。4つの処理区：(1) グルコースと細菌株を添加した実験区、(2) グルコースと細菌株を添加しない区、(3) グルコースを添加しない区、(4) 細菌株を添加しない区を用意した。250 mL容のポリエチレンテレフタレートボトルで暗所・25°Cで1-2週間培養し、計8回の三反復のサブサンプリングを行った。未濾過サンプルを用い細菌数と総有機炭素濃度を、GF75フィルター (孔径0.3 μm) の濾液サンプルを用い溶存有機炭素濃度、DOMの三次元蛍光スペクトルと吸収スペクトルを分析した。

溶存有機炭素濃度は、3種の細菌株に依らず、培養初期の急激な減少の後、消費され尽くされずに残存し、培養終了時まで大きな変動はなかった。これは、グルコースの消費後、細菌由来DOMが残存したことを示唆した。しかし、残存したDOC濃度は*V. splendidus*で205±11 μmol C L⁻¹と*A. macleodii* (51±4 μmol C L⁻¹) や*P. gallaciensis* (75±3 μmol C L⁻¹) と比較して顕著に高かった。つまり、細菌種によってRDOM生成効率が異なる可能性が示唆された。培養前の培地における三次元蛍光スペクトルには顕著な蛍光ピークは見られなかったが、培養後のDOMの三次元蛍光スペクトルには3種の細菌株間で特徴的な蛍光ピークが見られた。しかし、生成された蛍光ピークの数とピーク位置は3株間で異なっており、RDOMだと考えられている腐植様蛍光ピークの組成に3株間で違いが見られた。例えば、Gammaproteobacteriaに属する2株では蛍光波長500 nm以上の波長域に位置する腐植様蛍光ピークを持つDOMを生成したが、Alphaproteobacteriaに属する*P. gallaciensis*では同様な腐植様DOMを生成しなかった。これらのモデル細菌株の比較実験から、同じ基質を用いたとしても細菌種・綱により生成されるRDOMの効率や組成が異なることが示唆された。

キーワード：海洋炭素循環、溶存有機物、微生物炭素ポンプ、海洋細菌単離株

Keywords: Marine carbon cycle, Dissolved organic matter, Microbial carbon pump, Marine bacterial isolate

硝酸の三酸素同位体組成を利用した河川水中内の窒素循環速度測定法開発 Quantifying nitrogen cycling rate in streams water by using triple oxygen isotopes as tracers

*池上 文香¹、角皆 潤¹、小幡 裕介¹、安藤 健太¹、中川 書子¹

*Ayaka Ikegami¹, Urumu Tsunogai¹, Yusuke Obata¹, Kenta Ando¹, Fumiko Nakagawa¹

1. 名古屋大学大学院環境学研究科

1. Graduate School of Environmental Studies, Nagoya Univ.

水環境中の硝酸(NO_3^-)の濃度は、系内や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内のどのような過程で制御されているのか、知見を深める必要がある。しかし、系外からの流入はもちろん、系内における硝化による生成や、同化や脱窒による消費など、多様な供給・消費過を考慮せねばならず、各河川水の硝酸濃度の制御因子を明らかにすることは容易ではない。

近年になって河川水などの水環境中の硝酸の窒素・酸素安定同位体組成($\delta^{15}\text{N}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ 、 $\Delta^{17}\text{O}$ 値)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($\Delta^{17}\text{O}=\Delta^{17}\text{O}-0.52\times\delta^{18}\text{O}$)は有用で、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・ $\text{NO}_3^-_{\text{atm}}$)と、硝化によって生成する硝酸(再生硝酸・ $\text{NO}_3^-_{\text{re}}$)の混合比を正確に定量出来るようになった。さらに、定量化した $\text{NO}_3^-_{\text{atm}}$ の混合比と全硝酸($\text{NO}_3^-_{\text{total}}$)濃度をもとに、 $\text{NO}_3^-_{\text{atm}}$ の絶対濃度を求めることも出来るようになった。

本研究では、以上のようにして求めた $\text{NO}_3^-_{\text{atm}}$ の絶対濃度が、河川水中の硝化速度などの窒素循環速度の指標として利用できる可能性があると考えた。例えば、硝化による供給速度と、同化や脱窒による消費速度がバランスしている場合、河川水中の $\text{NO}_3^-_{\text{total}}$ 濃度は見た目上変化しない。しかし、硝化によって供給されるのは $\text{NO}_3^-_{\text{re}}$ だけなので、 $\text{NO}_3^-_{\text{atm}}$ の絶対濃度は減少する。従って、流下に伴う $\text{NO}_3^-_{\text{total}}$ と $\text{NO}_3^-_{\text{atm}}$ の濃度変化を定量することで、供給・消費速度を定量化できる可能性がある。そこで、琵琶湖の代表的な流入河川の1つである野洲(やす)川をフィールドとして、流下に伴う $\text{NO}_3^-_{\text{total}}$ 濃度とその窒素・酸素安定同位体組成($\delta^{15}\text{N}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ 、 $\Delta^{17}\text{O}$)の変化を実測して、河川水中内の窒素循環速度の定量に挑戦した。さらに、人工濃縮 $^{15}\text{NO}_3^-$ を使用した ^{15}N トレーサー法を組み合わせることによって、求めた各速度を検証したので、その結果を報告する。

河川水試料の採取は15地点の定点を設け、2014年から2016年12月までの期間で計8回実施した。各試料の $\text{NO}_3^-_{\text{total}}$ 濃度はイオンクロマトグラフで測定し、硝酸の安定同位体組成は、Chemical Conversion法を用いて NO_3^- を N_2O 化した後、連続フロー型の質量分析システムで定量した。また、2016年8月及び12月時には、採取した試料に $^{15}\text{NO}_3^-$ を添加して現場水温で24時間培養を行い、その取り込み率からその同化速度を求めた。そして、同化速度から硝化及び脱窒速度を求めた。

夏季(8月)は下流域(最上流地点から20 km以上)で、 $\text{NO}_3^-_{\text{total}}$ 濃度が流下に伴って約40 $\mu\text{mol/L}$ から5 $\mu\text{mol/L}$ 以下付近まで減少する様子が見られた。同時に $\text{NO}_3^-_{\text{atm}}$ 濃度も減少していることから、夏季は同化または脱窒過程による硝酸の除去が下流域で活発に進行していることが明らかになった。また、 ^{15}N トレーサー法を用いて求めた同化速度との比較によって、この主要除去過程は脱窒である可能性が高いことが判明した。

キーワード：硝酸、三酸素同位体組成、河川水、硝化、同化、脱窒

Keywords: nitrate, triple oxygen isotopes, stream water, nitrification, assimilation, denitrification

Exploration of the relationship between isotopic signatures of inorganic nitrogen and the spiraling metrics in the river

Nguyen Cong Thuan², *木庭 啓介¹、矢野 翠¹、岩田 智也³、池田 勇太³、楊 宗興²
Thuan Nguyen Cong², *Keisuke Koba¹, Midori Yano¹, Tomoya Iwata³, Yuta Ikeda³, Muneoki Yoh²

1. 京大生生態学研究センター、2. 東京農工大学、3. 山梨大学

1. Center for Ecological Research, Kyoto University, 2. Tokyo University of Agriculture and Technology, 3. University of Yamanashi

Spiraling metrics are important for the better understanding of the biogeochemical processes in rivers, although it is quite demanding to measure these parameters. We explore the possibility to use the natural abundance of ^{15}N and d^{18}O of inorganic nitrogen (ammonium, nitrate and occasionally nitrite) as a proxy of the spiraling metrics. We measured concentrations and isotopes ratios of ammonium, nitrate and nitrite in a reach of Fuji River to figure out how concentrations and isotope ratios of these inorganic nitrogen can change according to their spiraling. We continuously collected water samples in the reach of ca. 6.5 km in the Fuji River by directly tracking a specific parcel of water following the longitudinal Lagrangian approach in June, October, November and December of 2015. We found significant inverse correlations between ammonium concentrations and d^{15}N of ammonium in all sampling periods, implying that ammonium was removed by nitrification and assimilation. The d^{15}N of nitrite measured in December were lower than both d^{15}N of ammonium and nitrate, suggesting the inverse isotopic fractionation during nitrite oxidation in the nitrification. Both concentrations and d^{15}N of nitrate significantly increased with the distance in all sampling periods, indicating the consumption of nitrate in parallel with nitrification. We will present more data collected from different rivers to explore the usefulness of isotope ratios as proxies of the spiraling metrics in the presentation.

キーワード：河川生態系、無機態窒素、安定同位体

Keywords: nutrient spiral, inorganic nitrogen, stable isotope

丘陵地における渓流水の高リン酸濃度と底層藻類の一次生産 High concentrations of phosphate in streams of hilly areas, which stimulate high primary production by benthic algae on pond soils

*笹 孝明¹、武井 六華、楊 宗興²

*Komei Sasa¹, Ritsuka Takei, Yoh Muneoki²

1. 東京大学、2. 東京農工大学

1. The University of Tokyo, 2. Tokyo University of Agriculture and Technology

Phosphate is an essential mineral nutrient for all life forms. However, little phosphate is present in river waters, because it is strongly adsorbed on particulates such as oxides and hydroxides of iron and aluminum. Wakamatsu et al. (2006) reported low concentrations of phosphate in many headwater streams in Japan, which was presumed to vary depending on geological features. Here, we report high concentrations of phosphate in streams of hilly areas, which are created through a topographical feature of hilly areas. The reduction of Fe under humid soils resulted in the release of phosphate, which could act as a prime source of phosphate in a watershed. Moreover, we report an occurrence of significant primary production by benthic algae on sediments of a shallow pond, which may be stimulated by phosphate released from sediments.

キーワード：リン、丘陵地、一次生産、河川、還元

Keywords: phosphate, hilly area, primary production, river, reduction

淡水生態系における好氣的メタン生成

A novel methane production pathway in freshwater ecosystems

*KHATUN SANTONA¹、小島 久弥²、岩田 智也¹

*SANTONA KHATUN¹, KOJIMA HISAYA², IWATA TOMOYA¹

1. 山梨大学大学院医学工学総合教育部、2. 北海道大学低温科学研究所

1. Interdisciplinary Graduate School of Medicine and Engineering, University of Yamanashi, 2. Institute of low temperature science, Hokkaido University

Climate change caused by the increasing of greenhouse gases (GHGs) in the atmosphere is the major problem of the 21st century. Methane (CH₄) is one of the powerful GHGs. Freshwater ecosystems (*i.e.*, lakes and ponds) are recently identified as one of the most important natural sources of atmospheric CH₄, accounting for 18% of total annual CH₄ emission to the atmosphere. It has long been believed that CH₄ is mainly produced by CH₄-producing archaea (*i.e.*, methanogens) in anaerobic lake sediments. However, our laboratory recently revealed the novel CH₄ production by photosynthetic microorganisms (*i.e.*, cyanobacteria) in aerobic lake waters. Similar findings also confirmed that the planktonic microbes in the North Pacific subtropical Gyre have C-P lyase that cleaves the C-P bond of methylphosphonic acid (MPn) and produce methane aerobically as a byproduct of MPn decomposition. However, the pathways and organisms responsible for the aerobic methane production in freshwater ecosystems are still unknown. The ability of CH₄ production by freshwater organisms was examined for ten axenic planktonic microbes by three batch-culture experiments (Experiment 1, 2 & 3). In Experiment 1, to confirm the ability of aerobic methane production ability by planktonic microbes, we compared the CH₄ production of P-starved microbes between inorganic phosphorus (P_i) and MPn addition treatments. In Experiment 2, to identify the enzymatic reaction of aerobic methane production, we measured the CH₄ production of P-starved microbes for various phosphonate addition treatments (MPn, EPn, 2-AEPn and DMMPn). Finally, in Experiment 3, inorganic nitrogen (N) and P_i was added with MPn to identify the effects of nutrient stoichiometry on aerobic methane production by planktonic microbes. In Experiment 1, the aerobic methane production was observed only in the MPn-add treatment for all microbes, while there was no CH₄ production in control and Pi-add treatments. Therefore, it is confirmed that the most planktonic microbes are able to decompose MPn to produce CH₄ under Pi-starved condition. Experiment 2 also revealed that the test organisms are able to cleave the C-P bond of MPn as a substitute for P_i, thereby producing CH₄ or C₂H₆ gases. However, the Protein BLAST search revealed that the test organisms have no C-P lyase (*phn*) genes, implying that different enzymes may function for the degradation of phosphonates. Therefore, further biochemical and proteomic analyses are necessary to identify the metabolic pathway. Finally, the effect of nutrient stoichiometry on CH₄ production was confirmed in Experiment 3. In particular, CH₄ production rate was accelerated in the MPn+N-addition treatment, indicating that N availability controls the MPn decomposition.

The present study revealed that the planktonic microbes have the ability to produce CH₄ aerobically by cleaving the C-P bond of phosphonates, whereas N availability increases CH₄ production. Therefore, the hitherto unknown CH₄ production by planktonic microbes in aerobic freshwater ecosystems represents a contemporary fact to amend the global CH₄ budget.

キーワード：好氣性メタン生成、プランクトン微生物、淡水生態系、メチルホスホン酸

Keywords: Aerobic methane production, Planktonic microbes, Freshwater ecosystems, Methylphosphonic acid

水田土壌のメタン酸化微生物食物連鎖の構造と機能

Structure and functions of a methane-driven microbial food chain in rice field soil

*村瀬 潤¹、日比野 優子¹、常田 岳志²、大久保 卓²、荒井 美和²、林 健太郎²、酒井 英光²、長谷川 利 拡²

*Jun Murase¹, Yuko Hibino¹, Takeshi Tokida², Takashi Okubo², Miwa Arai², Kentaro Hayashi², Hidemitsu Sakai², Toshihiro Hasegawa²

1. 名古屋大学大学院生命農学研究科、2. 農業・食品産業技術総合研究機構農業環境変動研究センター

1. Graduate School of Bioagricultural Sciences, Nagoya University, 2. Institute for Agro-Environmental Sciences, NARO

メタン酸化は湿地生態系からのメタン放出を左右する鍵反応である。メタン酸化細菌はメタンを酸化するだけでなく増殖のための炭素源として利用する。いったんメタン酸化細菌に同化されたメタン炭素はメタン酸化細菌以外の微生物に利用可能である。本発表では、水田土壌におけるメタン酸化が駆動する微生物食物連鎖の構造とその潜在的機能について報告する。安定同位体プロービング法による解析により、メタンの炭素はメタン酸化細菌だけでなく、非メタン酸化細菌、捕食性原生生物（原生動物）、細菌捕食性線虫に利用されることが明らかとなった。また、T4型ファージのカプシド遺伝子へのメタン炭素の取り込みも示された。これらの結果から、いったんメタン酸化細菌に同化されたメタンは、クロスフィーディング、捕食、ウイルス感染・溶菌を含む土壌の微生物食物連鎖に結びついていると推察された。水田生態系における活発なメタン酸化の場である水稻根圏でメタン酸化微生物食物連鎖に関与する捕食性原生生物の群集構成は、非根圏の群集とは異なっており、大気CO₂濃度の上昇に伴い変化した。このことはメタン酸化食物連鎖における捕食-非捕食関係の多様性を示唆している。原生生物はその選択的捕食作用により、メタン酸化細菌群集構造を左右するとともに、表層土壌におけるメタン酸化活性に影響を与える可能性が示唆された。これら一連の結果は、水田土壌のメタンの動態における微生物間相互作用の重要性を示している。

キーワード：水田土壌、原生生物、原生動物、メタン酸化、食物連鎖

Keywords: Paddy soil, Protists, Protozoa, Methane oxidation, Foodweb

ゲノム科学から見えてくる微生物によるヒ素循環 Biogeochemical arsenic cycling unraveled by microbial genome analysis

*天知 誠吾¹、土屋 達哉¹、笠原 康裕³、濱村 奈津子²

*Seigo Amachi¹, Tatsuya Tsuchiya¹, Yasuhiro Kasahara³, Natsuko Hamamura²

1. 千葉大学大学院園芸学研究科、2. 九州大学理学研究院、3. 北海道大低温科学研究所

1. Chiba Univ., 2. Kyushu Univ., 3. Hokkaido Univ.

Arsenic is released from anaerobic sediments into groundwater as As(III) (arsenite), which threatens the health of millions of people in southern Asia. It is widely accepted that certain anaerobic bacteria, such as dissimilatory iron-reducing bacteria and dissimilatory As(V) (arsenate)-reducing bacteria, play important roles in arsenic release in nature. Although respiratory arsenate reductase genes (*arrA*) closely related with *Geobacter* species have been detected frequently in arsenic-rich sediments, it is still unclear whether they directly participate in arsenic release, mainly due to lack of pure cultures capable of arsenate reduction. Previously, we isolated *Geobacter* sp. OR-1 from Japanese paddy soil. Strain OR-1 also utilized soluble Fe(III) and ferrihydrite as electron acceptors, and catalyzed dissolution of arsenic from arsenate-adsorbed ferrihydrite. Furthermore, inoculation of strain OR-1 into sterilized paddy soil successfully restored arsenic release. In this study, we analyzed draft genome sequence of strain OR-1, and found two distinct “arsenic islands”, the genomic regions highly enriched with arsenic-metabolizing genes. One consisted of *arrAB*, and they are also flanked with genes for arsenic resistance (*arsADR* and *acr3*) Another island consisted mainly of genes for arsenic resistance including that for a detoxifying arsenate reductase *ArsC*. Transcriptional analysis revealed that most of these genes were expressed specifically in the presence of arsenic, and that the expression of *arrA* was more than 30 times higher in the presence of arsenic. Comprehensive proteomic analysis by means of 1D SDS-PAGE and LC-MS/MS showed that not only arsenic-metabolizing proteins but also those involved in oxidative stress response, protein folding, molecular chaperones, phosphate uptake, and sulfur metabolism were expressed cooperatively in the presence of arsenic. Our results shed light on how microbes cope with this toxic metalloid, and play an important role in the biogeochemical cycling of arsenic.

キーワード：ヒ素、微生物、ゲノム解析、ヒ酸還元、転写解析、プロテオーム解析

Keywords: arsenic, microbes, genome analysis, arsenate reduction, transcriptional analysis, proteomic analysis

陸上温泉の好熱性微生物群集における化学独立栄養の硫黄代謝と共役した生物学的窒素固定

Biological nitrogen fixation coupled to chemolithotrophic sulfur metabolisms in a thermophilic microbial community in a hot spring

*西原 亜理沙¹、McGlynn Shawn²、Thiel Vera¹、松浦 克美¹、春田 伸¹

*Arisa Nishihara¹, Shawn E McGlynn², Vera Thiel¹, Katsumi Matsuura¹, Shin Haruta¹

1. 首都大学東京、2. 東京工業大学 地球生命研究所

1. Tokyo Metropolitan University, 2. Earth-Life Science Institute, Tokyo Institute of Technology

Thermophilic microbial communities are potent model systems for ecological and evolutionary analysis in ecosystems. One important physical component related to evolutionary and ecological dynamics in these systems is the availability of fixed nitrogen, which can only be acquired from the atmosphere (from N₂) by the action of nitrogenase, an enzyme which might have emerged as early as 3.5 billion years ago. Molecular based studies have suggested a distribution of nitrogen-fixing bacteria and archaea in hydrothermal vents and geothermal springs, however, the activities and ecological consequences of these metabolisms are poorly understood. Here, we detected and characterized nitrogen-fixing activity of chemosynthetic microbial communities developed at 74°C at sulfidic and slightly alkaline hot spring water.

N₂-fixation (nitrogenase activity) was determined using the acetylene reduction assay. Collected microbial communities were incubated in hot spring water in a sealed vial in situ or at 70°C in the laboratory. Nitrogenase activities were detected in conditions where moderate amounts of methane were produced, but not detected under conditions where methane production was at the observed maximum or minimum. These results suggest that nitrogen fixation occurs within a limited range of redox levels in the communities.

Addition of molybdate, an inhibitor of anaerobic sulfur metabolisms which have sulfite as an intermediate (e.g. sulfate reduction, and sulfur disproportionation), inhibited the nitrogenase activity of the communities. Dispersion of cell aggregates of the communities also decreased the nitrogenase activity, but the activity was partially recovered by amendment with H₂ and CO₂. These suggest that the nitrogenase activity in the communities is coupled with hydrogen-autotrophic and anaerobic sulfur metabolisms. In addition, cell aggregation may contribute to efficient interactions which support the currently unknown N₂-fixing microbe(s).

Taken together, our findings provide new insight into the ecological contributions of anoxic sulfur metabolisms in chemosynthetic thermophilic microbial communities.

キーワード：窒素固定、硫黄代謝、好熱菌、温泉

Keywords: nitrogen fixation, sulfur metabolism, thermophiles, geothermal spring

Climate and geochemical controls on soil phosphorus in Bornean tropical rainforest soils

*Rota Wagai¹, Yohey Hashimoto², Kosuke Ikeya¹, Shuntaro Hiradate¹, Taiki Yokoyama³, Kanehiro Kitayama³

1. NARO, Institute for Agro-Environmental Sciences, 2. Tokyo University of Agriculture and Technology, 3. Kyoto University

Phosphorus (P) is a major limiting nutrient controlling primary productivity in terrestrial ecosystems especially on highly-weathered soils. It was recently suggested that P depletion during soil weathering may also control long-term ecosystem evolution and plant species diversity. However, the connection between soil P forms and availability, forest productivity, and other ecosystem properties remains uncertain. The stock and chemical forms of soil P in ecosystem development is a fundamental issue because it affects plant and microbial strategies for acquiring P.

Here we examined how climate and parent materials control soil P in tropical rainforest ecosystems on Mt. Kinabalu, northeastern Borneo. We selected the sites developed on two chemically-contrasting rock types (ultramafic igneous and acidic sedimentary rocks) along an elevation gradients. We will present the results of soil P concentration (relative to C and N) as well as P forms assessed by liquid-state ³¹P NMR spectroscopy using NaOH/EDTA extracts.

Keywords: Phosphorus, ³¹P liquid-state NMR spectroscopy, Tropical forest ecosystems, Biogeochemical cycling, Ultramafic rock

東アジアの蛇紋岩土壌における元素組成・鉱物組成の多様性

Elemental and mineralogical diversity of serpentine soils in East Asia

*片岡 純佳¹、中尾 淳¹、山崎 慎一²、和穎 朗太³、矢内 純太¹

*Sumika Kataoka¹, Atsushi Nakao¹, Yamasaki Shinichi², Rota Wagai³, Yanai Junta¹

1. 京都府立大学大学院、2. 東北大学大学院、3. 農研機構 農業環境変動研究センター

1. Kyoto Prefectural University, 2. Tohoku University, 3. NARO, Institute for Agro-Environmental Sciences

【目的】 蛇紋岩は超塩基性岩の一種で、Mgや重金属元素に富む苦鉄質の易風化性鉱物(蛇紋石・タルク)を主成分とする岩石である。この元素・鉱物組成は地殻の平均組成と著しく異なるため、火山フロントに沿って点状分布している蛇紋岩地帯では、特殊な植物群落が成立する。一方で、蛇紋岩は他の母材に比べ風化作用を受け変質しやすく、東アジアの幅広い気候条件下では、多様な蛇紋岩土壌が生成・分布している。しかし、これまで東アジア広域多地点の蛇紋岩土壌の発達段階、元素組成や鉱物組成について、包括的に比較した研究はなく、蛇紋岩土壌の発達の全容は明らかではないのが現状である。そこで本研究では、緯度・標高に幅のある、日本、マレーシア、インドネシアの蛇紋岩地帯8地点から岩石および層位別土壌試料を採取し、元素組成および鉱物組成における多様性を明らかにするとともに、東アジアにおける蛇紋岩土壌の発達の実態を解明することを目的とした。

【方法】 緯度の高いほうから順に、北海道・天塩、京都府・大江山、高知県・円行寺、マレーシア・キナバル山、インドネシア・クアロで標高1,000 m以下の地点、キナバル山の高標高地点の試料(1,700 m, 2,700 m, 3,100 m)を採取した。この試料計39点について、湿式分解-AAS/ICP-AES分析およびXRFによる主要元素(Na, K, Ca, Mg, Fe, Al, Ni, Cr, Mn, Ti, Si)の全量分析と、1, 10-フェナントロリンを用いた全Fe量あたりのFe(II)割合の測定、さらにはDCB抽出によるFe_d濃度の測定を行った。また、岩石試料と土壌の粘土画分について、XRDを用いた鉱物同定を行った。さらに、元素組成を変数として主成分分析を行った。

【結果と考察】 岩石および土壌のいずれの試料においてもSiO₂、MgO、Fe₂O₃量が7~9割を占めていた。岩石試料では、SiO₂、MgO、Fe₂O₃量が96±0.8%と大部分を占め、それらの重量比もおおよそ8:5:1で、主要構成元素組成に大きな地域間の差は確認されなかった。一方土壌では、SiO₂(5%~45%)、MgO(0%~40%)、Fe₂O₃(15%~80%)とそれぞれの値域が非常に幅広く、類似標高ではより低緯度、同緯度(キナバル山)ではより低標高に位置するほど、Si、Mgの減少とFeの増加する傾向が見られた。さらにFeの存在形態に着目すると、岩石では0.3以上であったFe(II)の割合が、土壌では0.2から0.01にまで減少する一方で、岩石で12±1.5 g kg⁻¹とごく微量であったFe_dが、土壌では40から200 g kg⁻¹にまで増加した。加えて元素の主成分分析を行った結果、第一主成分はSi、Mgが正に、Fe、Ni、Cr、Mnが負に大きく負荷していた。これらは土壌の発達に伴い大きく増減したSi、Mg、Feと、蛇紋岩に特徴的に見られる重金属であることから、第一主成分は蛇紋岩土壌の発達を示す要素であると結論づけた。また、第二主成分はNa、K、Al、Tiが負に大きく負荷していた。これらの元素は岩石よりも土壌に多く含まれ、中でも日本の表層土壌で多い傾向が見られた。日本には偏西風により、石英や長石、雲母類を含む大気降下物が飛来し、これらの鉱物にはNa、K、Al、Tiが含まれている。そのため、第二主成分は混入物の存在を示す要素であると考えられ、鉱物同定の結果、第二主成分得点が高い日本の試料では、造岩鉱物に加えて石英と雲母の存在が確認された。さらに、岩石の主要な鉱物は蛇紋石であったが、比較的未発達な土壌では造岩鉱物やクロライトが見られ、土壌の発達とともにこれらの鉱物は減少、中間種鉱物に変化するとともに、粘土中の鉄酸化物の割合が90%にまで増加した。このように、東アジアの蛇紋岩土地帯では、母材が同種の岩石であるにも関わらず、気候の違いを反映して土壌の発達程度が異なり、地域特有の混入物も加わって、母岩とは大きく異なりかつ多様な元素組成・鉱物組成を持つ土壌が分布していることが明らかとなった。

キーワード：土壌、蛇紋岩

Keywords: Soil, Serpentinite

生物地球化学的研究のためのグローバルな土壌粘土鉱物データセット開発 Development of global dataset of soil clay minerals for biogeochemical studies

*伊藤 昭彦^{1,2}、和穎 朗太³

*Akihiko Ito^{1,2}, Rota Wagai³

1. 国立環境研究所、2. 海洋研究開発機構、3. 農研機構

1. National Institute for Environmental Studies, 2. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 3. National Agriculture and Food Research Organization

Clay minerals play important roles in terrestrial biogeochemistry and atmospheric physics, but their data have been only partially compiled at global scale. We present a comprehensive global dataset of clay minerals in the topsoil and subsoil at different spatial resolutions. The data of soil clay mineral composition were gathered through a literature survey and aggregated by soil orders of the Soil Taxonomy for each of the nine clay mineral groups: chlorite, gibbsite, kaolinite, mica/illite/mica, quartz, smectite, vermiculite, non-crystalline, iron oxide, and others. Using a global soil map, a global dataset of soil clay minerals distribution was developed at resolutions of 2' to 2° grid cells. The data uncertainty associated with data variability and assumption was evaluated using a Monte Carlo method, and validity of the clay mineral distribution obtained in this study was examined by comparing with other datasets. The global soil clay data offer spatially explicit studies on terrestrial biogeochemical cycles, dust emission to the atmosphere, and other interdisciplinary earth sciences.

キーワード：粘土鉱物、土壌

Keywords: Clay mineral, Soil

Probing the Future: Response of Soil Organic Carbon and Nitrogen dynamics to elevated CO₂ in a paddy field

*Julien Guigue¹, Takeshi Tokida¹, Hirofumi Nakamura³, Toshihiro Hasegawa², Rota Wagai¹

1. NARO, Institute for Agro-Environmental Sciences, 2. NARO, Tohoku Agricultural Research Center, 3. Taiyo Keiki Co. Ltd., Tokyo

Rice is the staple food for approximately half of people on Earth and, because of the projected increase in the world population, the sustainability of paddy fields ecosystems is of great importance. Continuous increase in atmospheric CO₂ concentration is likely to alter rice ecosystems productivity directly via photosynthesis or indirectly via global climate change. Less is known for how elevated CO₂ (eCO₂) affect soil C pool which is linked to soil N availability and long-term soil fertility. Free Air CO₂ Experiments (FACE) give an opportunity to simulate future atmospheric CO₂ concentrations in open-field environment by maintaining an elevated CO₂ concentration throughout the field. Here we report results from a rice paddy FACE at Tsukuba, Ibaraki started in 2010. We examined how the eCO₂ altered soil C and N stocks as well as the fate of rice-derived C over a four year period. We analyzed surface (Ap) horizon samples from 2010, 2012 and 2014 and determined their C and N contents. The soils were fractionated into three density fractions (i.e. free light fraction, occluded light fraction and heavy fraction) that correspond to soil organic matter pools with different degrees of decomposition state and mineral association. The free light fraction corresponds to relatively recent plant residues which were not extensively decomposed by soil microorganisms. The occluded light fraction is composed of organic matter that was entrapped in soil aggregates. This organic matter is physically entrapped into soil aggregates. The heavy fraction is enriched in mineral particles and the organic matter present in this fraction is associated with mineral particles and underwent more pronounced microbial transformation. Because the CO₂ added in this experiment derived from fossil C, its carbon isotopic signature differed from natural atmospheric CO₂. This isotopic signature allowed us to track the flow of photosynthesized C into different soil organic matter pools and to estimate mean residence time of C in each fraction.

Both soil C and N contents progressively decreased over the four year period due presumably to a shift in management (i.e. removal of rice straw from the field since 2010). It is worth mentioning that this decrease in soil organic matter was 25% more pronounced in the control plot compared to the plot exposed to eCO₂, suggesting that eCO₂ significantly enhanced organic matter input to the soil. The decrease in N contents was not as pronounced relative to C, leading to an increase in C:N ratios. The higher C:N ratios of soil and plant observed are likely to promote N immobilization by soil microbial community, which might lower N availability for rice.

Further soil analysis using stable isotopes measurements revealed that, after four years, significant proportions of original soil C were replaced with recent C at different degrees among the three soil density fractions. The mean residence time of C was on average 6.5, 120 and 56 years in free light fraction, occluded light fraction and heavy fraction, respectively. About 60% of soil organic matter was distributed in the heavy fraction and the relatively rapid turnover of C in this fraction was not expected. The heavy fraction contains the organic matter bound with mineral particles, which is more stable into the soil. We found that, after four years, about 7% of the C in the heavy fraction was originating from C assimilated by rice plants since 2010.

The relatively rapid incorporation of newly added carbon into the heavy fraction and the higher soil C

contents measured under eCO₂ suggest that the soil may be acting as a C sink under the open-field eCO₂ conditions. As it corresponds to a negative feedback for the rise in atmospheric CO₂ concentration, further research investigating this process are necessary.

Keywords: Soil, C and N cycling, Free Air CO₂ Experiment (FACE), Density fractionation, ¹³C, Climate change

異なる土壌タイプの微小団粒中の有機無機集合体の不均一性 Heterogeneity of organo-mineral particles within submicron aggregate among contrasting soil types

*浅野 眞希¹、武市 泰男²、菅 大暉³、小野 寛太²、高橋 嘉夫⁴、和穎 朗太⁵

*Maki Asano¹, Yasuo Takeichi², Hiroki Suga³, Kanta Ono², Yoshio Takahashi⁴, Rota Wagai⁵

1. 筑波大、2. 高エネ研、3. 広大、4. 東大、5. 農研機構

1. University of Tsukuba, 2. KEK, 3. Hiroshima University, 4. The University of Tokyo, 5. NIAES

Soil organic matter (SOM) accounts for a major portion of terrestrial C and is considered to be stabilized against microbial degradation due partly to its interaction with soil minerals. These organo-mineral interactions contribute to the formation of heterogeneous organo-mineral aggregate at various space scales down to submicron level. Many early studies showed hierarchical structure of organo-mineral aggregates that are bound together by various binding agents. Yet how organic compounds of microbial and plant origins interact with mineral phases within soil aggregate structure at the spatial scale relevant to microbial extracellular enzymes (tens of nanometers) remain unclear.

Here we focused on the sonication-resistant organo-mineral aggregates that are enriched in organic matter (OM) collected by particle size fractionation from four soil types of contrasting mineralogy. We hypothesize that spatial variation of C, Fe and Al and its chemical composition differ among the soil types due to the differences in the mode of organo-mineral associations.

We compare top soils (A horizon) from four soil types: allophanic Andisol, non-allophanic Andisol, Mollisol, Ultisol. The recovered particle size fractions are observed by scanning transmission X-ray microscopy (STXM) and near-edge X-ray absorption fine structure (NEXAFS). We will discuss common patterns and differences based on the mapping of these elements as well as that of carbon chemical composition among the four soils.

キーワード：土壌団粒、土壌有機物、有機無機相互作用、STXM、炭素安定化

Keywords: soil aggregate, soil organic matter, organo-mineral associate, STXM, carbon stabilization

骨コラーゲンの同位体分析によるマダガスカル絶滅種の食性解析 Paleodiet study based on isotopic ratio analysis of bone collagen from Malagasy extinct species

*畑中 美沙希¹、横山 祐典¹、小川 奈々子²、宮入 陽介¹、Geoffrey Clark³、大河内 直彦²

*Misaki Hatanaka¹, Yusuke Yokoyama¹, Nanako O. Ogawa², Yosuke Miyairi¹, Geoffrey Clark³, Naohiko Ohkouchi²

1. 東京大学大気海洋研究所、2. 海洋研究開発機構、3. オーストラリア国立大学

1. Atmosphere and Ocean Research Institute, the University of Tokyo, 2. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 3. The Australian National University

マダガスカルは独自の生態系で知られ、生息する動植物の80%以上が固有種であると言われている。しかし完新世後期における大型動物相の絶滅は著しく、過去2000年の間に少なくとも脊椎動物の17属が絶滅し、クロコダイル *Crocodylus niloticus* を除く12 kg以上の体重をもつ大型動物が絶滅したと推定されている (Burney and MacPhee, 1988)。その絶滅要因としては、人間活動 (乱獲による個体数の減少、火の使用による生息地の縮小) や環境変化 (乾燥化、植物相変化による住環境・餌環境の変化) との関連が示唆されている (Burney et al., 2004, Crowley, 2010)。マダガスカル南西部においては植物相分布の変化時期と大型動物相の絶滅時期が一致するとされる (Geoffrey Clark, 私信) が、両者の因果関係は明らかではない。

本研究では、絶滅動物の栄養段階やC3・C4植物レベルでの食性の経時変化の復元を行い、植物相変化や人類の移住と食性変化との関連性について評価することを目的とした。研究対象としてマダガスカル南西部の Taolambiby、Ambolisatra、Itampolo の3地点の異なる年代層から採取された絶滅種 (コビトカバ・*Choeropsis liberiensis*) の化石骨試料を用いた。化学処理を経て化石骨からコラーゲンを抽出した後、抽出したコラーゲンの炭素および窒素安定同位体比を元素分析計/同位体比質量分析計を用いて測定し、シングルステージ加速器質量分析計によって年代測定を行なった。

測定されたカバ化石骨コラーゲンの暦年代は2750-1130 cal BPの値を示した。窒素安定同位体比は、2750 cal BPの1個体を除けば、Taolambiby (2個体) では9.6-10.1%、Itampolo (6個体) では11.1-12.3%、Ambolisatra (3個体) では12.48-12.57%の値を示し、同一地域では栄養段階が変動するほどの変化は生じなかったことが本研究により明らかになった。炭素安定同位体比は、Taolambibyでは-18.9--19.7%、Ambolisatraでは-17.2--17.9%、Itampoloでは-12.7--14.8%の変動を示した。Taolambibyから東に約20km離れたBeza Mahafalyに生息する現生C3植物の炭素安定同位体比を測定し、純粋C3植物食動物の化石骨の同位体比の予測値を計算したところ約-31--17%であった (Crowley et al., 2011)。同位体分別を考慮すると、C4植物食ならばより高い炭素安定同位体比を示すと予想される。この予測値と本研究の結果とを比較すると、Taolambiby、AmbolisatraではC3植物食、ItampoloではC4植物食寄りであり、同一地域ではC3・C4植物食に変動が起きるほど $\delta^{13}\text{C}$ 値に差が生じなかったことが明らかとなった。人類は2300 cal BP頃マダガスカル南西部に到来したとされており (Burney et al., 2004)、マダガスカル南西部でのカバの絶滅年代は1250-950 cal BPと推定されている (Geoffrey Clark, 私信)。加えて、Ambolisatraの堆積物中に見られる花粉記録から、この地域で植物相が1250 cal BP頃を境に激変したことが報告されている (Geoffrey Clark, 私信)。したがって、2600-1100 cal BPの間、すなわち人間が島へ到達してからカバが絶滅する直前まで、植物相の大規模な変化が起こったにもかかわらず、骨コラーゲンの同位体組成に反映されるようなカバの食性の変化は起きなかったことが示唆される。さらに、炭素安定同位体比の測定値より、Taolambiby・Ambolisatraに生息していたカバはC3植物食、Itampoloに生息していたカバはC4植物寄りと地域性が顕著に表れていることから、カバはC3植物・C4植物によらず生息域に生える植物を摂取していたという知見が得られた。すなわち、植物相の変化は植物食を通じてカバの体組織の同位体組成に影響を

与えず、食物の不足はカバの絶滅の直接的な要因でない可能性が示唆される。

キーワード：マダガスカル、完新世、絶滅、骨コラーゲン、安定同位体比、食性

Keywords: Madagascar, Holocene, extinction, bone collagen, stable isotope ratio, feeding habit

高知県の地形の異なるヒノキ林における樹冠葉量の推定

Leaf biomass of hinoki cypress forests along a slope gradient in Kochi Prefecture.

*稲垣 善之¹、宮本 和樹¹、奥田 史郎¹、野口 麻穂子¹、伊藤 武治¹

*Yoshiyuki Inagaki¹, Kazuki Miyamoto¹, Shiro Okuda¹, Mahoko Noguchi¹, Takeharu Itou¹

1. 森林総合研究所

1. Forestry and Forest Products Research Institute

森林生態系の樹冠葉量は様々な手法で推定される。ヒノキなどの常緑樹については、サイズの異なる個体を伐倒し、樹木のサイズと葉量の関係についてアロメトリー式を作成する。生枝下断面積あたりの樹冠葉量は樹種ごとに一定になる性質があり、様々な状態の林分について成り立つことが知られている。また、生枝下断面積は、樹高(H)、生枝下高(Hb)、胸高断面積($A_{1.3}$)から推定することができる。これらを組み合わせた樹冠葉量の簡易推定手法が提案された。この手法を用いて高知県の2地域の地形条件の異なる18か所のヒノキ林分の葉量を推定した。簡易手法で推定した林分葉量は高標高地域で14.1~19.2 Mg/ha、低標高地域で12.6~18.2 Mg/haであった。地域や斜面位置による林分葉量の差は認められなかった。 D^2H を幹バイオマスの指標とし、林分ごとに対数変換した D^2H と葉量との関係を直線で回帰した。回帰直線の傾きは高標高地域で0.75~1.03、低標高域で0.92~1.05を示した。回帰直線の傾きが1の時に、幹バイオマスあたりの葉量が個体サイズに対して一定になり、傾きが小さいほど、サイズが小さい個体ほど幹バイオマスあたりの葉量が大きくなることを示す。本調査地では、傾きが1より小さい林分が多く、サイズの小さい個体は幹バイオマスあたりの葉量が大きかった。林分の収量比数と回帰直線の傾きには正の相関関係が認められた。収量比数が小さい林分は樹高成長が不良な地形条件であるが、このような林分では小さい個体の幹バイオマスあたりの葉量が多かった。一方、収量比数の大きい林分は、林冠が閉鎖するために小さい個体の葉量が大きく減少した。これらのメカニズムにより、地形条件に対してヒノキの林分葉量は比較的一定の値を示すと考えられた。

キーワード：葉量、ヒノキ林、斜面

Keywords: Leaf biomass, hinoki cypress forest, slope

植物中の硝酸の同位体組成：自然同位体組成を指標に用いた大気中の窒素酸化物の寄与評価

The stable isotopic compositions of nitrate extracted from natural plants : Quantifying the contribution of atmospheric nitrogen oxides to nitrogen assimilated by plants

*小幡 祐介¹、池谷 康祐^{1,2}、中川 書子¹、角皆 潤¹

*Yusuke Obata¹, Kosuke Ikeya^{1,2}, Fumiko Nakagawa¹, Urumu Tsunogai¹

1. 名古屋大学環境学研究科、2. 農業環境技術研究所

1. Graduate school of Environmental Studies, 2. National Institute for Agro-Environmental Sciences

窒素は生物の必須元素の一つであり、植物が窒素を取り込む(同化)ときの代表的な形態が NO_3^- である。植物が同化する NO_3^- の大部分は、土壌から供給されていると考えられているが、それ以外に大気中の窒素酸化物を取り込んで体内で NO_3^- 化し、その一部は窒素源として用いられていることが知られている。このような窒素代謝過程の解析は、従来は人工的に ^{15}N を濃縮した NO_3^- 等を投与して培養する ^{15}N トレーサー法を用いて研究されてきたが、 ^{15}N トレーサー法を植物に応用する場合、培養に長大な時間と労力を要する上に、培養操作が植物の生育環境を変化させてしまうという問題があった。そこで本研究では、植物試料から抽出した NO_3^- の自然同位体組成をトレーサーとして用いることで、植物体内における NO_3^- の起源や同化過程を明らかにすることを試みた。特に $\delta^{15}\text{N}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ だけでなく、三酸素同位体組成($\Delta^{17}\text{O}$)を同時に分析することで、大気中の窒素酸化物の寄与評価に重点を置いたので、その結果を中心に報告する。

本研究で試料としたのは、名古屋大学東山キャンパス内に自生するメタセコイアやヒノキなどの針葉樹、アラカシやソメイヨシノなどの広葉樹を含む木本類、ササを含む草本類の葉で、2016年4月から2017年4月までひと月に1回のペースで同じ個体について採取したものである。採取した試料は超純水を用いて外表面を丁寧に洗浄した後、乾燥させたうえで粉碎し、超純水に NO_3^- を抽出した上で、夾雑物を濾過により取り除いた。抽出液中の NO_3^- は、一酸化二窒素(N_2O)に化学的に変換してからその濃度および $\delta^{15}\text{N}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ 値を、さらに N_2O を O_2 に変換することによって NO_3^- の三酸素同位体組成($\Delta^{17}\text{O}$ 値)を、それぞれ連続フロー型安定同位体質量分析計を用いて定量した。

NO_3^- の濃度は、植物の乾燥重量あたり0.1から0.5($\mu\text{mol/g}$)で、明瞭な季節変動は見られなかった。 $\delta^{15}\text{N}$ 値は植物間で-25から+10%まで大きな違いが見られた。土壌中に含まれる NO_3^- の $\delta^{15}\text{N}$ 値は-5から+5%程度なので、これと比較すると、少なくともアラカシやメタセコイアが有意に低い $\delta^{15}\text{N}$ 値を示した。 $\delta^{18}\text{O}$ 値は供試した全ての植物で+60から+80%程度であり、土壌水に含まれる NO_3^- 中の $\delta^{18}\text{O}$ 値(-10~0%)よりはるかに高い値を示した。さらに $\Delta^{17}\text{O}$ 値は+13から+20%程度の大きな異常を示した。これらは土壌から吸収した NO_3^- では説明できない値であり、本手法で植物から抽出される NO_3^- の大部分は、大気中の NO_2 に由来する NO_3^- であることが明らかになった。

キーワード：植物、窒素酸化物、三酸素同位体組成

Keywords: Plant, Nitrogen oxides, Triple oxygen isotopic composition

Effects of flooding on iron solubilization in soils

*Kazumichi Fujii¹

1. Forestry and Forest Products Research Institute

Solubilization of iron (Fe) oxides in soils has strong influences on phosphorus (P) sorption and plant productivity (Fe²⁺ toxicity). Seasonal flooding is hypothesized to change the red-ox status of Fe³⁺ (Fe²⁺) and Fe oxide stability to varying extents under different ecological conditions. The stability of Fe oxides were thermodynamic analyzed using Fe²⁺ concentrations, Eh, and pH in soil solution for a variety of seasonally-flooded soils in arctic, temperate, and tropical regions (forest and paddy system). In continuous permafrost zone (Canada), permafrost-affected soils of black spruce forest are seasonally flooded due to summer thawing impermeable permafrost table. The surface soil solutions were under-saturated with short-range order Fe oxides (ferrihydrite). The soil solutions in deeper horizons are supersaturated with short-range order Fe oxides, consistent with the high concentrations of oxalate-extractable Fe oxides. In tropical forest soils (Indonesia), soil solutions are under-saturated with short-range order Fe oxides, but they are supersaturated with crystalline Fe oxides (esp., lepidocrocite). This suggests solubilization and re-precipitation of short-range order Fe oxides. This process is promoted in the soils of riparian zone. The highly reducing condition of tropical paddy soils (Indonesia) promoted solubilization of goethite and hematite, which caused Fe²⁺ toxicity. The red-ox cycles in temperate paddy soils (Japan) caused solubilization of lepidocrocite and supersaturation with short-range order Fe oxides after drainage. This process caused P solubilization and translocation of Fe oxides in deeper horizons.

Keywords: paddy soil, iron, phosphorus

Seasonal evolution of the N_2/Ar ratio in the upper ocean of the western subarctic Pacific: a modeling study

*重光 雅仁¹、村田 昌彦¹、山中 康裕²

*Masahito Shigemitsu¹, Akihiko Murata¹, Yasuhiro Yamanaka²

1. 国立研究開発法人 海洋研究開発機構、2. 北海道大学

1. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 2. Hokkaido University

The N_2/Ar saturation ratio ($\Delta N_2/Ar$) in seawater provides a powerful constraint on water column and benthic denitrification. To use $\Delta N_2/Ar$ as a tracer of denitrification, accurate knowledge of the influence of abiotic processes, such as air-sea heat flux related to diffusive gas exchange, turbulent mixing, sea-level pressure variation, and bubble injection, on the distribution of these two gases in the upper ocean is required. To this end, we investigate the contribution of each of these abiotic processes to the seasonal evolution of N_2 and Ar saturation anomalies and $\Delta N_2/Ar$ in the western subarctic Pacific using a one-dimensional model. Variations in surface heat flux and sea-level pressure tend to create an undersaturation of N_2 and Ar in the mixed layer from winter to early spring, when the mixed layer depth reaches its maximum; this undersaturation is carried to depths below the mixed layer. Mixing induces a small supersaturation of both gases in and below the mixed layer. Because these processes affect both gases in a very similar manner, they lead to only very small $\Delta N_2/Ar$ anomalies in and below the mixed layer. In contrast, bubble-mediated gas exchange leads to higher supersaturation of N_2 than Ar, and it accounts for almost all the $\Delta N_2/Ar$ anomalies in and below the mixed layer. The contribution of bubble-mediated gas exchange thus needs to be well understood when using $\Delta N_2/Ar$ as a tracer for oceanic denitrification.

キーワード：海洋表層の N_2/Ar 比、非生物過程、季節変動

Keywords: N_2/Ar ratio in the upper ocean, abiotic process, seasonal evolution

琵琶湖湖底堆積物-湖水間における硝化・脱窒のプロセスの解明 Nitrification and denitrification processes in sediment and its influence on nitrogen dynamics in Lake Biwa

*土橋 直弥¹、尾坂 兼一²、鈴木 悠平²、山田 早紀²、丸尾 雅啓²、中村 高志³、西田 継³

*Naoya Tsuchihashi¹, Ken'ichi Osaka², Yuhei Suzuki², Saki Yamada², Masahiro Maruo², Takashi Nakamura³, Kei Nishida³

1. 滋賀県立大学, 環境科学研究、2. 滋賀県立大学, 環境科学部、3. 山科大学, 環境科学部

1. Graduate School of Environmental Science, University of Shiga Prefecture, 2. School of Environmental Science, University of Shiga Prefecture, 3. Faculty of Environmental Science, University of Yamanashi

It has been well known that excess nitrogen loading on aquatic ecosystems causes severe environmental problems such as harmful algae outbreak and deterioration of water quality. Denitrification is a microbial process that reduce nitrate to di-nitrogen. Nitrification is important microbial process for denitrification because that produces nitrate from ammonium. These mean that co-occurrence of nitrification and denitrification reduces nitrate and ammonium concentration in aquatic ecosystem. In this study, we conducted sediment incubation experiments of sediment to determine nitrification rate and denitrification rate at sediment in Lake Biwa. We also corrected lake water at 14 depths from May 2015 to Dec. 2016 in a month interval at first sedimentary basin of Lake Biwa, and analyze total nitrogen, dissolved nitrogen, ammonium, nitrate and nitrogen and oxygen isotopes of nitrate.

Nitrate concentration was higher in the deeper layer (50-80 m) than the surface layer (0-10 m) at all observation period, and the difference increased in latter stratification period. Moreover, nitrogen isotopes ratio of nitrate increased and oxygen isotope ratio of nitrate decrease in deeper layer at latter stratification period. These results mean new nitrate was generated at deeper layer at stratification period. The results of sediment incubation experiments and nitrate mass balance in water column show that increase of nitrate in deeper layer at stratification period was result of nitrification in water column. Moreover it is considered that the influence of sedimentary denitrification on nitrate consumption in water column was minor.

キーワード：硝化、脱窒、堆積物、琵琶湖

Keywords: nitrification, denitrification, sediment, Lake Biwa

ドリフト法による大河川の栄養塩スパイラルメトリクスの推定

Nitrogen and phosphorus dynamics in the mainstem of the Fuji River estimated by *in situ* spiralling metric measurements

*池田 勇太¹、岩田 智也¹

*Yuuta Ikeda¹, Tomoya Iwata¹

1. 山梨大学

1. University of Yamanashi

人為起源の窒素やリンなどの栄養塩の過剰な流出は、湖沼や内湾などの閉鎖性水域において富栄養化を引き起こしている。そのため、栄養塩の輸送経路となる河川内の栄養塩動態の解明が、下流域への栄養塩負荷の予測で重要になる。河川内の栄養塩動態は、河床面積当たりの栄養塩取り込み速度 U ($\text{mmol m}^{-2} \text{h}^{-1}$)、水柱から河床方向への栄養塩原子の鉛直移動速度 v_f (cm/s)、栄養塩原子が河床に到達するまでに流下する平均距離 S_w (m)の3つのスパイラルメトリクスにより定量化することができる。スパイラルメトリクスは、トレーサー法による推定が一般的であるが、大河川では膨大な量のトレーサーが必要となるためスパイラルメトリクスが測定された例はほとんどない。とくに、国内の大河川では河川内の栄養塩動態が下流や沿岸域への栄養塩輸送に及ぼす影響は明らかになっていない。そこで本研究では、観測者が河川を流下しながら栄養塩濃度の変化を測定するドリフト法を用いて、流量 $37 \text{m}^3/\text{s}$ 以上の大河川でのスパイラルメトリクスの推定を目的とする。さらに、季節的にスパイラルメトリクスの推定を行うことで、河川の物理環境や栄養塩濃度が大河川の栄養塩動態に及ぼす影響を明らかにする。

調査は、山梨県富士川において2015年5~12月に計6回行った。富士川町富士橋上流から身延町月見橋の計6.6km区間(流量 $37\text{--}53 \text{m}^3/\text{s}$)を調査区間とし、ゴムボートで流下しながら177-466 m間隔で連続的にラグラングジュ型サンプリングを行なった。河川水は実験室に持ち帰った後、 NH_4 、 NO_2 、 NO_3 および PO_4 濃度の測定を行なった。河川内の栄養塩濃度の流程変化を一次反応と仮定し、栄養塩濃度の自然対数値と流下距離の関係から取り込み速度定数 k (m^{-1})を算出した。この値をもとに、平均取り込み距離 S_w 、鉛直移動速度 v_f および取り込み速度 U を推定した。

調査の結果、ドリフト法を用いることで大河川でもスパイラルメトリクスを推定することができた。 NH_4 の取り込み速度 U_{NH_4} は全ての月・区間で正の値を示した。一方、 U_{NO_2} や U_{NO_3} は多くの月・区間で負の値を示し、河床から水柱への放出があることを示した。 U_{PO_4} は月や区間によって正負両方の値を示し、河川の物理化学環境の変化によって河川内の栄養塩動態の季節変化が大きいことが示された。この結果を海外の5次河川と比較したところ、富士川の U_{NH_4} や U_{PO_4} は同程度または高い値を示した。しかし、富士川の高い栄養塩濃度を反映し v_f は同程度か遅く、富士川の早い流速を反映して S_w は長い値となった。また、一般化加法モデルを用いて解析を行ったところ、取り込み速度 U の多くは基質律速であることが明らかとなった。さらに NH_4 、 NO_2 、 NO_3 の取り込み速度を比較した結果、 NH_4 の取り込み活性が高まるとともに、 NO_2 が河床から放出されていることが明らかとなった。このことから、硝化反応が河川内での窒素動態に大きく寄与している可能性が明らかとなった。

キーワード：窒素、リン、河川、スパイラルメトリクス

Keywords: nitrogen, phosphorus, river, spiral metrics

安定同位体を指標に用いた酸化的水圏環境における過飽和メタンの起源解明

Clarifying sources of methane enriched in oxic water columns by using stable carbon and hydrogen isotopes as tracers

*三好 友子¹、角皆 潤¹、中川 書子¹、鋤柄 千穂¹、伊藤 昌稚¹、小松 大祐²

*Yuko Miyoshi¹, Urumu Tsunogai¹, Fumiko Nakagawa¹, Chiho Sukigara¹, Masanori Ito¹, Daisuke Komatsu²

1. 名古屋大学大学院環境学研究科、2. 東海大学

1. Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, 2. Tokai University

大気中のCH₄は代表的な温室効果ガスの1つであるが、その発生源（供給源）や挙動については未解明な部分が多い。水圏環境はCH₄の主要発生源となっており水圏から大気へのCH₄放出量の変化は、大気中のCH₄濃度を激変させるポテンシャルがある。したがって水圏におけるCH₄の起源や挙動を正確に理解することは非常に重要である。

CH₄は一般に嫌気的環境で生成され、好気的環境で酸化分解されるという特徴をもつ。しかし先行研究では、酸化的な海洋や湖沼水中でも、CH₄が大気平衡に対して過飽和に溶存している例が多数散見されている。この現象はmethane paradoxと呼ばれ、原因を特定するため様々な研究が行われてきた。

本研究では、酸化的な水圏環境で過飽和化しているCH₄の起源を特定するため、琵琶湖と伊勢湾・三河湾をフィールドとして、水柱中の溶存CH₄の安定同位体比（ $\delta^{13}\text{C}$ と δD ）を指標に用いることでCH₄の起源と水圏環境における挙動を解明することに挑戦した。酸化的な水環境試料に溶存するCH₄について、その $\delta^{13}\text{C}$ を指標として利用した研究は過去に複数存在したが、 δD を用いた研究はほとんどなかった。しかし $\delta^{13}\text{C}$ と δD の両方を指標として利用することで、生成後の分解の進行に関わらず、その起源を特定することができる可能性がある。そこで本研究は、 $\delta^{13}\text{C}$ と δD の両方を同時に定量し、この酸化の進行を補正した $\Delta(2,13)$ （ $=\delta\text{D}-11\times\delta^{13}\text{C}$ ）を定義し、指標として利用した。

表層水の過飽和をもたらすCH₄の起源としては、①河川からの流入、②湖底堆積物からの供給、③沈降粒子から供給、の3つの可能性を考え、それぞれについて同位体比を定量化し水柱のCH₄と比較した。その結果、同位体比の解析から琵琶湖表層で過飽和となっているCH₄は、河川からの流入によって供給されている可能性が高いことが分かった。一方、伊勢湾・三河湾のCH₄の起源は両者間で異なり、伊勢湾については琵琶湖同様流入河川からの供給である可能性が高いものの、三河湾については沿岸の海底堆積からの流入がその起源となっている可能性が高いものと推論した。

キーワード：メタン、炭素同位体、水素同位体

Keywords: methane, hydrogen isotopes, carbon isotopes

Elucidation of nitrate dynamics in a temperate region watershed with heavy snowfall using triple oxygen isotopes as tracers

*Yoshio Nunez Palma¹, Shohei Hattori¹, Yuko Itoh², Moeko Kawasaki³, Keiji Takase⁴, Naohiro Yoshida¹

1. Tokyo Institute of Technology, 2. Forestry and Forest Products Research Institute, 3. Ishikawa Agriculture and Forestry Research Center Forestry Experiment Station, 4. Ishikawa Prefectural University

Atmospherically deposited nitrogen to the terrestrial environment due to human activity has been increased over the last decades. It is important to elucidate the response of ecosystems towards nitrogen deposition. In this study, a triple oxygen isotope approach was used as a tracer for environmental fate of atmospheric NO_3^- in a temperate forest with heavy snow for the years 2015 and 2016. The $\Delta^{17}\text{O}$ values of NO_3^- for precipitation and throughfall ranged from 22 to 32‰ and reflect the seasonal variation between summer (minimum) and winter (maximum), this is attributed to the changes in atmospheric formation pathways of NO_3^- over seasons. Based on $\Delta^{17}\text{O}$ values of NO_3^- in litter layer and mineral soil at 25, 55, and 90 cm depths respectively, calculated fraction of NO_3^- from atmospheric source (f_{atm}) shows that nitrification mainly occurs in the litter layer in the summer. In the winter, on the other hand, relatively high $\Delta^{17}\text{O}$ values of NO_3^- in litter layer were observed, indicating that nitrification does not occur in the litter layer due to the existence of snowmelt water. Although different f_{atm} for litter layer were observed over the seasons, f_{atm} of stream water were constant (approximately 10%) in both winter and summer. In addition, gross nitrification rates (GNR) based on f_{atm} for stream water and total NO_3^- input for this study site in summer were lower than those in winter, suggesting higher nitrification activity in winter due to higher loads of NO_3^- and NH_4^+ inputs in the latter season. So far, nitrogen and oxygen isotopic values for biologically produced NO_3^- showed no significant correlation, indicating no detectable trend of assimilation by plants and/or denitrification.

Keywords: stable isotopes, fraction of atmospheric nitrate, gross nitrification rate, biologically produced nitrate

熱帯季節林から流出する硝酸の起源 -酸素同位体異常を用いた解析- Using triple nitrate isotopes to determine nitrate sources in the streamwater of tropical dry forest

*山下 尚之¹、角 和暁³、矢野 翠³、眞壁 明子⁴、木庭 啓介³、キフティノン ポピット⁵、ガリバイト ハ
タイラタナ⁶、ヴィサラタナ ティティ⁵、佐瀬 裕之²

*Naoyuki Yamashita¹, Kazuaki Sumi³, Midori Yano³, Akiko Makabe⁴, Keisuke Koba³, Bopit
Kietvuttinon⁵, Hathairatana Garivait⁶, Thiti Visaratana⁵, Hiroyuki Sase²

1. 国立研究開発法人森林総合研究所、2. アジア大気汚染研究センター、3. 京都大学、4. 海洋開発研究機構、5. タイ王室林
野局、6. タイ環境研究教育センター

1. Forestry and Forest Products Research Institute, 2. Asia center for air pollution research, 3. Kyoto University, 4.
Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 5. Royal Forest Department, 6. Environmental Research
Training Center

東南アジア地域では大気からの人為由来窒素の沈着量が増加しているが、この地域に広く分布する熱帯林の
窒素循環や流出水質への影響にはいまだ不明な点が多い。特に、高いNPPを持つ熱帯林生態系では窒素の内部
循環フラックスが著しく大きく、物質収支による大気由来窒素の影響評価が困難であった。一方、大気由来窒
素の影響指標として硝酸イオンの酸素同位体異常 ($\Delta^{17}\text{O}$) が近年注目されている。この値は大気硝酸でほ
ぼ一定の値を示す一方、生態系内の同化や脱窒といったプロセスにおいて変化しないため、安定窒素同位体比
の情報と組み合わせることで、大気由来窒素の森林生態系内での挙動を明らかにするために有用なツールとな
る。しかしながら、これまでに $\Delta^{17}\text{O}$ の測定は中緯度地方を中心に行われており、熱帯地域における測定例は
ほとんど報告されていない。本研究は、熱帯サバナに成立する熱帯季節林の小集水域において降水、土壤
水、渓流水中の硝酸イオンの窒素 ($\delta^{15}\text{N}$) と酸素 ($\delta^{18}\text{O}$ および $\Delta^{17}\text{O}$) の同位体比を測定し、 $\Delta^{17}\text{O}$ を指標とし
て用いることにより、1) 熱帯地域における本手法の有効性を確かめるとともに、2) 大気沈着由来窒素によ
る熱帯季節林の渓流水質への寄与を明らかにすることを目的とした。

調査は東北タイのサケラート林業研究所に設置した35 haの山地小集水域試験地において2011~2013年に
実施した。調査地は年平均降水量1370mm、平均気温25.5°Cのサバナ気候に属し、標高600-680mの丘陵地に
主に熱帯季節林が分布している。例年、4月から10月が雨季、11月から3月が乾季である。乾季にはほとんど
降水が認められず、乾季后期から雨季初期にかけて渓流水の基底流が枯渇する。降水の採取にはバルクサンプ
ラーを用い、降水イベントのみられた翌朝に採水・冷蔵保管した後、月毎のコンポジット試料として硝酸イオ
ンの同位体分析に供した。また、土壤水および渓流水の硝酸イオンは、カラムおよびバッグに充填した陰イ
オン交換樹脂を現場に設置して捕集濃縮の後に回収し、イオン成分を抽出して分析に供した。土壤水については
約6か月、渓流水については約2週間設置したのちに、新たなイオン交換樹脂と交換した。各試料は実験室内に
て冷凍保管した後、硝酸イオンの $\delta^{15}\text{N}$ と $\delta^{18}\text{O}$ は脱窒菌法にて、 $\Delta^{17}\text{O}$ は硝酸イオンを脱窒菌により一酸化二
窒素に変換後ワシントン大にて測定した。

雨季である4月から10月にかけて降水中の $\Delta^{17}\text{O}$ は平均21%であり、雨季を通じてほぼ一定であった。雨季
における土壤水中の $\Delta^{17}\text{O}$ は斜面の表層と下層でそれぞれ1.3と1.4%、河畔部ではそれぞれ0.9と0.4%と顕著
に低下しており、大気由来窒素の寄与が著しく低下していたことが示唆された。一方、乾季における土壤水中
の $\Delta^{17}\text{O}$ は斜面部の表層と下層でそれぞれ4.6、5.8%、河畔部では2.4、0.8%であり、特に斜面部でやや高い
傾向があった。渓流水中の $\Delta^{17}\text{O}$ は6-12%のレンジを示し、平均で約9%であった。渓流水の $\delta^{15}\text{N}$ と $\delta^{18}\text{O}$ に
は明らかな相関が認められ、流出する硝酸イオンが脱窒プロセスの強い影響下にあると考えられた。

降水中の $\Delta^{17}\text{O}$ は中緯度地域よりもやや低いものの、雨季を通じてほぼ一定の値を示したことから、本地域

においても大気由来窒素評価の有効な指標として利用可能と考えられた。全期間で土壌水と渓流水の $\Delta^{17}\text{O}$ は降水を大幅に下回っており、同化・無機化・脱窒等の内部プロセスに由来する硝酸イオンによる渓流水質への寄与が大きかったと推察された。硝酸イオンの濃度とフラックスも考慮に入れた大気由来硝酸の寄与率についても議論を進める予定である。

キーワード：酸素同位体異常、熱帯季節林、窒素沈着

Keywords: Oxygen isotope anomaly, Tropical dry forest, Nitrogen deposition

森林渓流水中の硝酸イオン濃度に与える乾性沈着・湿性沈着の影響

The influence of dry deposition and wet deposition on streamwater nitrate concentration in forested watersheds

*梶谷 侑生¹、尾坂 兼一²、藤田 健斗¹、千代 真照¹、勝山 正則³、中村 高志⁴、西田 継⁴

*Yuki Kajitani¹, Ken'ichi Osaka², Kento Fujita¹, Shinsho Chishiro¹, Masanori Katsuyama³, Takashi Nakamura⁴, Kei Nishida⁴

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. 京都大学学際融合教育研究推進センター グローバル生存学連携大学院ユニット、4. 山梨大学大学院総合研究部国際流域環境研究センター

1. Graduate School of Environmental Science, University of Shiga Prefecture, 2. Department of ecosystem study, University of Shiga Prefecture, 3. Center for the Promotion of Interdisciplinary Education and Research, Kyoto University, 4. Interdisciplinary Centre for River Basin Environment, Interdisciplinary Graduate School, University of Yamanashi

Nitrogen exported from forest is considered to affect the eutrophication in downstream ecosystems, therefore, the understanding of nitrogen export processes from forest is important. Recently, nitrogen deposition to terrestrial ecosystem is increasing and that enhance nitrate concentration exported from some forested watersheds. Nitrogen deposition to forest generally consists of dry and wet deposition of nitrogen, however, the influence dry deposition on nitrogen export from forested watershed has not clear compared with the influence of wet deposition. In this study, we measured nitrogen compounds concentrations in stream water, throughfall and air in forested watersheds near highway to clarify the influence of dry deposition and wet deposition on streamwater nitrate concentration. We collected streamwater in 23 sites, throughfall in 13 sites and nitrogen oxide aerosol in 8 sites at north part of Shiga prefecture. Streamwater was collected from March 2016 to November 2016 in a month interval, and throughfall and aerosol were collected from August 2016 in two weeks interval. Nitrate concentrations were higher in streamwater from forested watershed near highway. We will discuss the relationship between streamwater nitrate concentrations and wet and dry deposition in presentation.

キーワード：硝酸、渓流水、乾性沈着、湿性沈着、森林集水域

Keywords: nitrate, streamwater, dry deposition, wet deposition, forested watershed

森林生態系の窒素循環高度化の為の同位体予測モデルの構築 Development of stable N isotope model for forest ecosystem

*仁科 一哉¹、木庭 啓介²、矢野 翠²、小林 真³、松本 一穂⁴、飯尾 淳弘⁵、伊藤 昭彦¹、林 誠二¹
*Kazuya Nishina¹, Keisuke Koba², Midori Yano², Makoto Kobayashi³, Kazuho Matsumoto⁴,
Atsuhiko Iio⁵, Akihiko Ito¹, Seiji Hayashi¹

1. 国立環境研究所、2. 京都大学生態学研究センター、3. 北海道大学 北方生物圏フィールド科学センター、4. 琉球大学 農学部、5. 静岡大学 農学部 附属地域フィールド科学教育研究センター

1. NIES National Institute of Environmental Studies, 2. Kyoto University, Center for Ecological research, 3. Hokkaido University, Field Science Center for Northern Biosphere, 4. University of the Ryukyu, Faculty of Agriculture, 5. Shizuoka University, Faculty of Agriculture

Since the Industrial revolution, reactive nitrogen in the environment has increased due to the combustion of fossil fuels and increased use of chemically synthesized fertilizers, the amount of which has been doubled in the whole land before the industrial revolution. Excessive reactive nitrogen is a cause of various environmental problems such as generation of nitrous oxide which is a greenhouse gas, nitrate nitrogen contamination of groundwater, eutrophication of closed water area, and decline of biodiversity. Even in forest ecosystems, nitrogen saturation has been confirmed in many suburban areas, but it is still difficult to accurately measure the nitrogen balance in forest ecosystems. This is partly because it is difficult to quantify the denitrification in forest ecosystem. For this reason, we have also great uncertainties in the nitrogen cycle of the ecosystem (biogeochemical) models. However, the ratio of natural N isotopes is considered to reflect information on N loss rates (i.e., denitrification, leaching) in some extent. So, Houlton et al. (2015 in Nature Climate Change) proposed that implementing the ratio of natural N isotopes in ecosystem model and validate these values could improve their representation of N cycling.

In this study, to implement $\delta^{15}\text{N}$ calculation scheme to ecosystem model "VISIT", we measured the $\delta^{15}\text{N}$ of leaves, litter and soils, as a validation dataset, in five forest experimental sites across Japanese archipelago (Teshio Experimental Forest of Hokkaido University Ryukyu, Fujiyoshida, Mt. Tsukuba, Tenryu Field of Shizuoka University, Yona Field of University of Ryukyu). First, to estimate soil $\delta^{15}\text{N}$ using VISIT, we implemented Houlton & Bai (2010 in Global Biogeochemical Cycle) scheme to VISIT model. However, the simulation results of soil $\delta^{15}\text{N}$ in VISIT showed smaller values, compared to observation in all site. We will report further progress in the representation $\delta^{15}\text{N}$ in the modified VISIT model.

キーワード：窒素同位体比、森林生態系

Keywords: Nitrogen isotope ratio, Forest ecosystem

富士山麓森林におけるオゾンフラックスの通年観測 Seasonal variation of O₃ flux in red pine forest

杉山 薫¹、*和田 龍一¹、高梨 聡²、深山 貴文²、中野 隆志³、望月 智貴⁴、谷 晃⁴、米村 正一郎⁵、高木 健太郎⁶、松見 豊⁷、植山 雅仁⁸、宮崎 雄三⁶

Kaoru Sugiyama¹, *Ryuichi Wada¹, Satoru Takanashi², Takafumi Miyama², Takashi Nakano³, Tomoki Mochizuki⁴, Akira Tani⁴, Seiichiro Yonemura⁵, Kentaro Takagi⁶, Yutaka Matsumi⁷, Masahito Ueyama⁸, Yuzo Miyazaki⁶

1. 帝京科学大学、2. 森林総合研究所、3. 富士山科学研究所、4. 静岡県立大学、5. 農研機構、6. 北海道大学、7. 名古屋大学、8. 大阪府立大学

1. Teikyo University of Science, 2. Forestry and Forest Products Research Institute, 3. Mount Fuji Research Institute, 4. University of Shizuoka, 5. National Agriculture and Food Research Organization, 6. Hokkaido University, 7. Nagoya University, 8. Osaka Prefecture University

【はじめに】森林生態系における微量気体の吸収・放出は炭素循環や気候変動に直接的・間接的な影響を及ぼす (Ollinger *et al.*, 2002)。森林生態系内部の反応性窒素ガスおよびオゾンの吸収・沈着・放出量とその時間変動の要因を知るには、フラックスおよび森林内部における濃度変化の日変化・季節変化を明らかにすることが有用である。本発表では、森林生態系におけるオゾンフラックスの通年観測を富士山麓森林にて行った結果を報告する。

【方法】富士吉田アカマツ林微気象観測タワー (FJY) にて、CO₂濃度とO₃濃度を2016年1月から12月にかけて観測し、物質の濃度勾配より輸送量を計測する傾度法を用いてこれら微量気体のフラックスを計測した。微気象観測タワーと樹冠の高さはそれぞれ32mと約25 mである。O₃とCO₂の計測には、それぞれ紫外吸収分析装置 (49i, Thermo Scientific) と赤外吸収分析装置 (Li-820, Li-cor) を用いた。大気サンプル口は、アカマツ林の樹冠上である26 mと34 mに設置し、各高度の大気をPFAチューブで地上の分析装置まで吸引しバルブを用いて交互に各5分間計測を実施した。同時に高度26.5 mに設置したクローズトパス非分散型赤外線吸収分析装置 (LI-6262, Li-cor) により、CO₂フラックスを渦相関法により求め (森林総合研究所CO₂フラックス観測データ)、傾度法で求めたCO₂フラックスと比較した。

【結果・考察】2016年6月~12月の日中平均 (9:00-16:00) CO₂フラックスは、傾度法と渦相関法によりそれぞれ $-0.10 \pm 0.08 \text{ mol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 、 $-0.25 \pm 0.16 \text{ mol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (\pm の後ろの数値は観測値の標準偏差) と得た。傾度法で得られた日中平均CO₂フラックスは渦相関法で得られた値に比べて絶対値が小さい値を示したが、エラーバーの範囲にて一致した。O₃濃度は5月に最大となる季節変化を示した。一方日中平均 (9:00-16:00) O₃沈着フラックスは7月に最大となる季節変化を示した。富士山麓森林におけるO₃沈着フラックスの最大となる時期は、O₃濃度が最大となる時期に比べて遅れて現れることが明らかとなった。これは北海道天塩の針広混交林にて観測された結果 (高木, 2016) と同様であった。

参考文献 Ollinger *et al.*, 2002, *Global Change Biology* **8**, 545-562.

高木健太郎, 2016, 大気環境学会年会, 150.

キーワード: オゾン、フラックス、森林

Keywords: ozone, flux, forest

森林土壌炭素インベントリにおける枯死木データの基礎的解析

Carbon stock of coarse woody debris in Japanese forests

*稲富 素子¹、石塚 成宏¹、酒井 佳美¹、大曾根 陽子¹、南光 一樹¹、橋本 徹¹、田中 永晴¹、金子 真司¹、三浦 覚¹

*Motoko Inatomi¹, Shigehiro Ishizuka¹, Yoshimi Sakai¹, Yoko Osone¹, Kazuki Nanko¹, Toru Hashimoto¹, Nagaharu Tanaka¹, Shinji Kaneko¹, Satoru Miura¹

1. 森林総合研究所

1. Forestry and Forest Products Research Institute

森林生態系内において枯死木等の枯死木はきわめて不均質な分布をしており、その高精度なインベントリの開発は炭素管理上の長年の課題となっている。

2006年度から開始した林野庁の土壌炭素インベントリ事業は、2016年度より第3期に入った。気候変動に関する国際連合枠組条約（UNFCCC）における我が国の森林の炭素吸収・排出量の報告を適切に行うため、同一地点での反復測定を含む長期モニタリングのデータセットを整備する必要がある。調査項目としては、①土壌、②リター、③枯死木の3つの炭素コンパートメントに分かれる。本発表では、3つの炭素コンパートメントのうち、③枯死木について2011–2015年度に実施された第二期の調査結果をもとに、基礎的解析の報告を行う。

枯死木の調査は、ラインインターセクト法（ライン法）による倒木、ベルトトランセクト法（ベルト法）による根株と立枯木の測定を行い、単位面積当たり（ m^2 ）の枯死木の炭素蓄積量（kg）として集計している（表1）。第二期の堆積有機物の平均炭素蓄積量は、 $0.75 \pm 0.98 \text{ kg m}^{-2}$ という結果となった。また、森林土壌炭素の3つのコンパートメントの総量に対する枯死木の占める割合は約1割（8.3%）を占めることが分かった。

伐採跡地などに成立した二次林における枯死木の生成要因としては、環境ストレス、気象によるもの（雪害、強風）、病気、競争、老化が考えられるが、人工林ではさらに人間の管理による間伐や皆伐が加わる。二次林での枯死木の平均炭素蓄積量は $0.60 \pm 0.83 \text{ kg m}^{-2}$ 、人工林のスギ林では $1.16 \pm 1.24 \text{ kg m}^{-2}$ 、ヒノキ林では $1.14 \pm 0.94 \text{ kg m}^{-2}$ であった。二次林と人工林では枯死木の平均炭素蓄積量に大きな違いがあり、スギ林では10–19年生で最も平均蓄積量が多かった（図1）。さらに、人工林における管理形態や地上部バイオマス情報を加味して、枯死木の炭素蓄積量の林種別、林齢別の基本的解析について発表を行う。

キーワード：土壌炭素蓄積、森林生態系、インベントリ

Keywords: soil carbon stock, forest ecosystem, inventory

表 1 枯死木の調査方法とサイズ計測箇所

枯死木の種類	調査方法	サイズの測定方法
倒木	ラインインターセクト法	ライン上の直径
根株	ベルトトランセクト法	直径、地際直径、斜面上部高、 斜面下部高
立枯木	ベルトトランセクト法	胸高直径、高さ

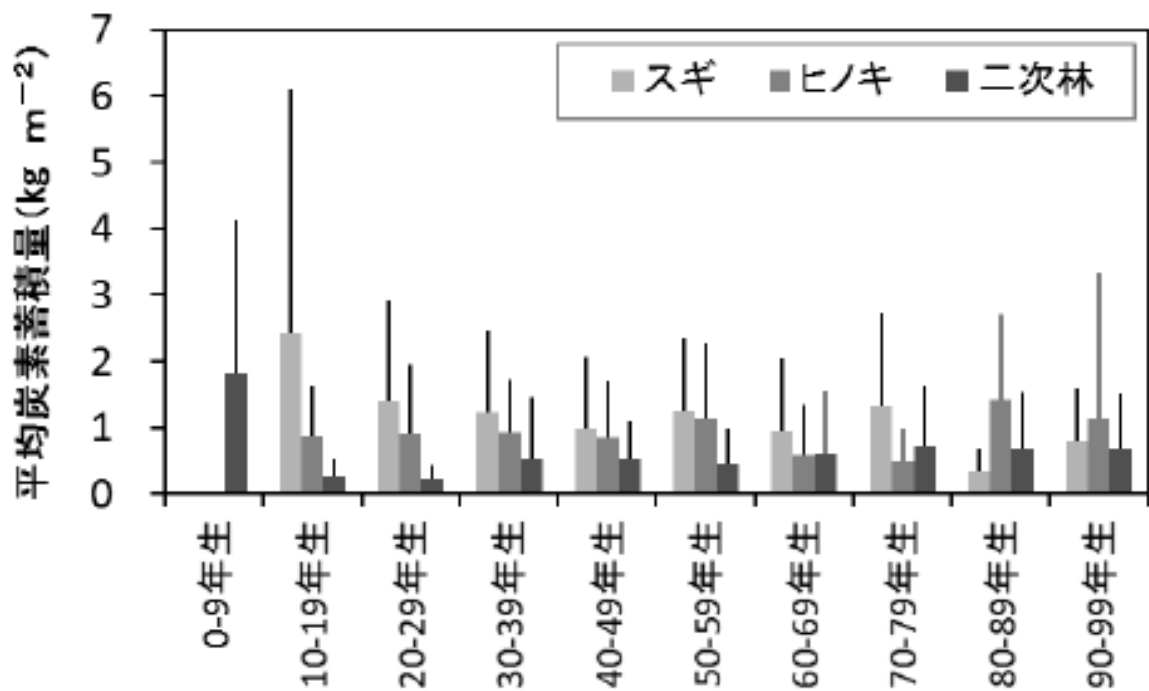


図 1 林齢による枯死木の平均炭素蓄積量
エラーバーは標準偏差を示す。

The sensitive soil chemical properties reflect the vegetation changes caused by overgrazing in Mongolia.

*遠藤 一樹¹、浅野 眞希¹、田村 憲司¹

*Kazuki ENDO¹, Maki Asano¹, Kenji Tamura¹

1. 筑波大学

1. University of Tsukuba

Human activities and climate changes have altered grassland ecosystems in Mongolia. Especially, overgrazing causes deterioration of vegetation and soil degradation. The process of soil degradation with vegetation deterioration in Mongolian grassland is not clearly understood. We need to find out which soil properties can be a sensitive index of soil degradation to promote sustainable use of grassland in Mongolia. Therefore, to obtain preliminary data for establishing a soil degradation index, we observed soil profile morphology and measured soil physicochemical properties under different grazing pressure in the steppe grassland Mongolia.

キーワード：土壤理化学特性、土壤劣化、過放牧、モンゴル国

Keywords: soil physicochemical properties , soil degradation, overgrazing, Mongolia

Comparison of Different Degraded Grassland Soils in the Qinghai-Tibet Plateau

*馬 旭平¹、浅野 真希¹、田村 憲司¹

*XUPING MA¹, Maki Asano¹, Kenji Tamura¹

1. 筑波大学

1. university of tsukuba

The Qinghai-Tibetan Plateau, the largest geomorphological unit on the Eurasian continent, is an important part of the global terrestrial ecosystem. In recent years, the degraded grassland area has reached about 4.251×10^7 hm², accounting for 33% of the available area.

Objective of this study are (1) To identify morphological characteristics and physicochemical properties of soils in alpine degraded grassland (2) To investigate the change of soil micromorphology under different degradation grassland.

Therefore, we chosen 3 site from the Hequ horse farm in the eastern Qinghai-Tibet plateau, there are lightly degraded grassland(HQ1-L), moderately degraded grassland(HQ2-M) and heavily degraded grassland(HQ3-H). HQ1-L in the winter pasture, HQ2-M close to the nest, surrounded by more serious desertification, HQ3-H plots selected in the cow enclosure, the surface vegetation was destroyed. Soil samples from each horizon were systematically collected for physicochemical analysis and 100 cm³ core samples were taken from 0-5cm surface soils for the micromorphology analysis.

Vegetation coverage decreased with grassland degradation. The characteristics of the OA layer are root mat, because the dominant species of *Kobresia* belongs to the *Cyperaceae* genus, this is easy to form the root mat. In the HQ3-H degraded grassland, a large number of vegetation degradation, secondary vegetation instead of dominant species, the OA horizon was disappeared.

In conclusion, the exchangeable cations, CEC, total nitrogen (TN) and organic carbon (OC) were decreased with grassland degradation degrees; however, the pH value is exactly the opposite. While, from the micromorphology of soil thin section, with the soil degradation, the porosity obviously decreases while the degree of soil microstructure is also reduced, resulted in mineral ions and free water supply to plant growth are also restricted. Also the activity of soil animals was decreased with grassland degradation.

キーワード：チベット 高原、土壤、草原、退化

Keywords: Qinghai-Tibet Plateau, Soil, Grassland, Degradation

Effect of epigeic earthworm casting on soil properties of subsoil from an Andosol

*菅野 志瞭¹、浅野 真希¹、田村 憲司¹

*Chiryō Kanno¹, Maki Asano¹, Kenji Tamura¹

1. 筑波大学

1. University of Tsukuba

The burrowing and feeding activity of earthworms have the beneficial effect on the soil properties. It is reported that earthworm cast forms a stable aggregate with large size and it increases the water holding capacity, water permeability. Earthworm casts have higher available nutrients and microbial activity than surrounding soils and have a higher rate of decomposition of organic matter. In addition, it is reported that bacterial composition is different between the intestine of large earthworm and surrounding soils. However, the influence of earthworms on the interactions among organic matter - minerals - microorganisms in soil is still unclear. In this study, we conducted the breeding experiment of earthworm to show the effects of earthworm on; (1) the soil aggregation and soil organic matter content, (2) soil enzyme activity and microbial community.

Metaphire hilgendorfi was collected and kept in a rearing container with soil and litter for 2 weeks. After breeding, control soil and earthworm cast were sampled for microscopic observation, measurement of pH, EC, total nitrogen, organic carbon, β -glucosidase and protease activity, and evaluation of microbial diversity using biology eco-plate.

キーワード：ミミズ、土壌団粒、微生物活性

Keywords: earthworm, soil aggregates, microbial activity

人工マクロポアの導入が土壌有機物の損失に与える影響

Soil carbon loss induced from artificial macropore installation

*森 也寸志¹、霜井 真彩¹、金子 信博²、藤江 幸一²

*Yasushi Mori¹, Maaya Shimoi¹, Nobuhiro Kaneko², Koichi Fujie²

1. 岡山大学大学院環境生命科学研究科、2. 横浜国立大学大学院環境情報研究院

1. Graduate School of Environmental and Life Science, Okayama University, 2. Graduate School of Environment and Information Sciences, Yokohama National University

土壌には大量の有機物が存在しているが、過度な耕耘や強雨による表土流出でその量は減少し続けている。これまでに人工マクロポアを用いると水分や有機物の下方浸透効果があることが確認された。しかし、人工マクロポアが毛管力の補助や空気の流入経路となり、蒸発促進や過度な有機物分解が起こる懸念もあり、本研究では人工マクロポアの導入が過剰な水分減少や有機物損失に与える影響を評価した。

豊浦標準砂を30cmの鉛直カラムに入れ、有機物として500mg/L安息香酸溶液と500倍に希釈した無機塩類(N:P:K=6:10:5)の混合液を均一に分布させた。不耕起区と耕起区、人工マクロポア区の3つの区を設け、人工マクロポア区には20cmのグラスファイバーを挿入し、耕起区は3日ごとに表層10cmを耕耘した。不耕起区には特別な処理は行わなかった。あえて微生物活性を促すため、30℃に設定したインキュベーター内で2週間管理した。3日ごとに5cmの層ずつにカラムを解体し、各試料の有機物量、含水比、EC、蒸発量を計測した。

結果的に有機物量の分布に関して、不耕起区では下方浸透型の分布となり最も貯留効果が高く、耕起区では耕耘を行った表層から10cmまでの層で激しい分解が見られた。一方、マクロポア区では3,6日目の5~15cmの層で分解を免れている層が見られた。また、実験最終日のカラム内総安息香酸量は不耕起区>マクロポア区>耕起区となっており、マクロポア区で過剰な分解は見られなかった。水分量に関して、マクロポア区では不耕起区とほぼ同じ含水比となり、マクロポア挿入部からの過剰な蒸発は見られなかった。これは蒸発量の結果からも確認することができた。栄養塩類は分解促進の原因になるが、マクロポア区は耕起区よりも表層の塩類濃度が低く、栄養塩類の集積に大きく寄与しないことが明らかになった。

3区の比較から、マクロポア区は耕起区ほど有機物の分解を受けておらず、分解に抵抗を見せる層も見られた。また水分は不耕起区とほぼ同量保持しており、保水性を十分維持できている。さらに耕起区ほど栄養塩類の集積に過剰に寄与することもなかった。これらのことから、人工マクロポアの導入は有機物や水分の保持を行うものの、有機物や水分の過剰な損失にはつながらないという結果が得られた。

キーワード：マクロポア、浸透、炭素貯留

Keywords: macropore, infiltration, carbon storage

Which fraction of soil organic matter is more vulnerable to rhizosphere priming effect?

*Biao Zhu¹

1. Peking University

Rhizosphere priming effect (RPE) is defined as the stimulation or suppression of soil organic matter (SOM) decomposition by living roots. It remains unclear which fraction of SOM is more vulnerable to rhizosphere priming. We conducted two experiments in continuous ¹³C labeling growth chamber to compare the intensity of RPE for the active (or labile) vs. slow (or recalcitrant) SOM. A sandy loam (Alfisol) was incubated at 20°C and 80% water holding capacity for different periods, which created a gradient in the relative proportion of active vs. slow SOM in the remaining soils. We then grew sunflower (*Helianthus annuus*) and soybean (*Glycine max*) in these remaining soils for 50 days under the same environmental conditions to compare the RPE of these two plant species on the decomposition of soils that varied in the lability of SOM. In both experiments, as the incubation proceeded from 1 to 8 to 14 months (in experiment 1) and the soil changed from freshly-sampled soil to two-year-incubated soil (in experiment 2), the intensity of RPE increased significantly even after accounting for the changes in root biomass or root-derived CO₂. This result suggests that the slow (or recalcitrant) fraction of SOM is likely more vulnerable to rhizosphere priming compared to the active (or labile) fraction of SOM. Although the underlying mechanisms of this finding await further investigation, our study clearly shows that the main component of SOM (slow or recalcitrant SOM, decadal turnover) is vulnerable to rhizosphere priming. Therefore, the RPE has the potential to substantially regulate both short-term and long-term soil carbon dynamics.

Keywords: soil organic matter decomposition, rhizosphere priming effect, labile soil carbon, recalcitrant soil carbon