

(超) 深海堆積物における窒素動態と微生物生態
Geochemical and molecular biological characterization of nitrogen dynamics in (hado)pelagic sediments

西澤 学^{1*}; 平井 美穂¹; 野牧 秀隆¹; 柳川 勝紀¹; 眞壁 明子²; 木庭 啓介²; 布浦 拓郎¹
NISHIZAWA, Manabu^{1*}; HIRAI, Miho¹; NOMAKI, Hidetaka¹; YANAGAWA, Katsunori¹; MAKABE, Akiko²; KOBAYASHI, Keisuke²; NUNOURA, Takuro¹

¹ 海洋研究開発機構, ² 東京農工大学

¹JAMSTEC, ²TUAT

Great progress has been made in understanding the nitrogen cycle in oceanic waters by the recent identification of ammonia-oxidizing archaea and anaerobic ammonia oxidizer (anammox), and by the following comprehensive approaches to clarify the abundance and activity of each component in the nitrogen cycle. However, nitrogen dynamics in marine sedimentary habitats is still uncertain. To further characterize nitrogen dynamics in the deep-sea sediments, we have quantified i) gene abundance of putative nitrifiers, denitrifiers and anammox, and ii) potential rate of denitrification in the hadopelagic sediment cores taken from the Ogasawara Trench (water depth of 9760m). We have also determined nitrogen and oxygen stable isotopic compositions of nitrate in the interstitial water in the hadopelagic sediments. Abundance of potential proteobacterial denitrifiers correlated with that of nitrifiers through the depth, and anammox also likely co-occurred with nitrifiers. Further, nitrate isotope compositions suggest the enrichment of ^{18}O by nitrification process and co-occurrence of nitrification and denitrification in nitrate reduction zone. The data suggest that aerobic and anaerobic processes of the nitrogen cycle coupled in the nitrate reduction zone in the hadopelagic sediments.

深海堆積物表層における硝化菌・嫌氣的アンモニア酸化菌の分布 Niche separation of nitrifiers and anammox in deep-sea sediments.

布浦 拓郎^{1*}; 平井 美穂¹; 西澤 学¹; - ジュリアーニ¹; 野牧 秀隆¹; 菅 寿美¹; 田角 栄二¹; 宮崎 淳一¹; 眞壁 明子²; 木庭 啓介²; 高井 研¹

NUNOURA, Takuro^{1*}; HIRAI, Miho¹; NISHIZAWA, Manabu¹; -, Juliarni¹; NOMAKI, Hidetaka¹; SUGA, Hisami¹; TASUMI, Eiji¹; MIYAZAKI, Junichi¹; MAKABE, Akiko²; KOBA, Keisuke²; TAKAI, Ken¹

¹ 海洋研究開発機構, ² 東京農工大

¹JAMSTEC, ²TUAT

これまでに我々は小笠原海溝底の表層堆積物を対象に分子生態解析、地球化学解析を行い、無機窒素循環に関わる主要な微生物機能、即ち硝化、嫌氣的アンモニア酸化 (anammox)、脱窒) の分布について以下の点を明らかにした (Nunoura et al. 2013)。1) アンモニア酸化菌群ではアーキアが、また、亜硝酸酸化菌群では Nitrospina が優占する。2) 堆積物中の硝酸には、堆積物中での硝化の同位体化学的徴候が明瞭に記されている。3) anammox の分布はアンモニア酸化菌による亜硝酸供給に決定される。4) 硝酸還元菌分布の最大は、硝酸の十分に存在する海洋底表層にある。

その一方、上記の現象が全ての海底堆積物で共通する現象であるのかどうか全く明らかではなく、上記の研究は深海表層堆積物中の窒素循環の一端に触れたのみである。本研究では、深海底表層堆積物中における無機窒素循環に関連する微生物機能を決めるルールを明らかにするため、それぞれ堆積物中の化学環境の異なる海域 (マリアナ海溝底、小笠原海溝底、小笠原海溝東方深海平原、日本海溝底、日本海、インド洋) から採取した堆積物試料を用い、同様に硝化菌群及び anammox について定量 PCR を行ない、得られた硝化菌群・anammox の分布と間隙水組成の比較から、海底下における硝化菌及び anammox の分布を決定する要因について検討した。

キーワード: 硝化, 嫌氣的アンモニア酸化

Keywords: nitrification, anammox

深海底熱水噴出域におけるウイルスの生態 Ecology of viruses in deep-sea hydrothermal vents

吉田 ゆかり^{1*}
YOSHIDA, Yukari^{1*}

¹ 海洋研究開発機構
¹JAMSTEC

Since the discovery of ubiquitous and highly abundant viruses in aquatic ecosystems, many studies have been conducted to discern the role of viruses within aquatic microbial communities. As a result, viruses are now recognized to be significant components of all aquatic ecosystems. It has been suggested that they affect global nutrient and biogeochemical cycles in the world's oceans, and play a role in regulating abundance and composition of microbial communities. Viruses can also mediate lateral gene transfers and drive the diversification of microbial communities and the co-evolution between viruses and hosts.

Deep-sea hydrothermal vents are sites having great microbial biomass, high productivity, and physiologically and genetically high diversity, contrasting sharply with the surrounding sparsely populated deep-sea environments. The primary production in the deep-sea vent ecosystem is sustained by chemolithoautotrophic microorganisms that utilize reduced chemical compounds from the earth interior as energy sources. To date, the biogeochemical processes, ecophysiological functions, and evolutionary significance of deep-sea vent microbial communities have been extensively studied, but the ecological and evolutionary impacts of viruses on the deep-sea vent microbial communities remain to be fully elucidated.

Here, I provide an overview of current hot research topics related to viruses in aquatic ecosystems, and then introduce our studies on the viral functions and ecology in deep-sea hydrothermal vents in addition to several previous studies on virus-host interactions.

Keywords: virus, hydrothermal vent, chemolithoautotrophs

東部熱帯南太平洋酸素極小域における鉄の輸送と酸化還元サイクル Iron redox cycling and subsurface offshore transport in the eastern tropical South Pacific oxygen minimum zone

近藤 能子^{1*}; Moffett James W.²
KONDO, Yoshiko^{1*}; MOFFETT, James W.²

¹ 国立極地研究所, ² 南カリフォルニア大学
¹National Institute of Polar Research, ²University of Southern California

Iron (Fe) is well known as an essential element involved in a number of biochemical processes in the ocean such as nitrogen metabolism. The distribution of dissolved Fe in seawater depends on the nature and magnitude of the sources and sinks, and the transport mechanisms. The thermodynamically favored oxidation state of Fe, Fe(III), is strongly hydrolyzed and its removal is mainly constrained by the formation of strong complexes with natural organic ligands such as humic substances and siderophores. These organic ligands control not only the solubility of dissolved Fe in seawater, but also the bioavailability of Fe(III) for phytoplankton. Fe(III) in seawater can be reduced to Fe(II), which is more soluble and kinetically labile, although is rapidly oxidized in the oxygenated seawater. Recent studies have suggested that dissolved Fe(II) substantially exists in surface seawater (e.g., Hansard et al., 2009), suboxic layers in oxygen minimum zones (OMZs) (e.g., Kondo and Moffett, 2013), hypoxic shelf waters and sediments (Lohan and Bruland, 2007), hydrothermal vents and shallow submarine eruption (Santana-Casiano et al., 2013). Since Fe(II) is more bioavailable than Fe(III), the existence of Fe(II) could provide a big advantage for the organisms in these environments even though it is ephemeral. These results suggest the importance to investigate chemical and redox speciations of Fe to elucidate carbon and nitrogen cycles in the ocean.

The distribution of dissolved Fe, Fe(II) and Fe(III)-binding organic ligands were investigated in the upper 1000 meters of the eastern tropical South Pacific from January to March 2010, during El Nino event. Dissolved Fe concentrations were exceedingly low in surface waters, showed minima near chlorophyll maximum, and increased below that depth. While high rates of nitrogen fixation have been inferred for this region from models, our data suggest that surface Fe is much too low to support diazotrophs. Dissolved Fe and organic Fe(III) ligands concentrations at mid-depth were elevated in the nearshore stations, where virtually all dissolved Fe(III) was bound to these ligands. Maxima in the concentration of Fe(II) were seen in the oxygen-deficient and high-nitrite layers of the OMZ. Fully 8 to 68% of dissolved Fe existed as Fe(II) in the samples collected at these depths. Dissolved Fe concentration was higher in the OMZ where Fe(II) and nitrite were present. We propose that this region, the most reducing part of the OMZ, plays an important role in subsurface, offshore Fe transport.

キーワード: 鉄, 二価鉄, 酸素極小域, 東部熱帯南太平洋, 有機リガンド

Keywords: iron, Fe(II), oxygen minimum zone, eastern tropical South Pacific, organic ligand

深海生態系における物質循環の同位体トレーサー実験による定量化 Biogeochemical cycles on the deep-sea floor revealed by isotope labeling experiments

野牧 秀隆^{1*}
NOMAKI, Hidetaka^{1*}

¹ 海洋研究開発機構
¹JAMSTEC

Deep-sea benthic food webs are mainly sustained by sinking aggregates of phytodetritus derived from the water column. Although the majority of organic matter is consumed before reaching the deep-sea floor, phytodetritus still transports a significant amount of fresh material from the surface ocean to the seafloor. A portion of the phytodetritus is converted to benthic biomass, and the remaining refractory organic matter not utilized by the benthic community is preserved in the sedimentary record. The activity of the benthic community is thus expected to be an important factor in controlling the quality of organic matter, and biogeochemical cycles on the deep-sea floor. We carried out some different types of *in situ* isotope labeling experiments to reveal these benthic processes. Results quantitatively demonstrated the fate of phytoplankton, bacteria, dissolved organic carbon, and dissolved inorganic carbon on the deep-sea floor.

キーワード: 堆積物—水境界, 底生生物, 同位体トレーサー, 生物地球化学サイクル
Keywords: Sediment-water interface, Benthos, isotope tracer, Biogeochemical cycle

海洋有光層の窒素循環解析ツールとしてのクロロフィル窒素同位体比 Nitrogen isotopic record of chlorophylls as a tool for understanding of nitrogen dynamics in the oceanic photic zone

小川 奈々子^{1*}; 吉川 知里¹; 菅 寿美¹; 大河内 直彦¹

OGAWA, Nanako O.^{1*}; YOSHIKAWA, Chisato¹; SUGA, Hisami¹; OHKOUCHI, Naohiko¹

¹ 独立行政法人海洋研究開発機構

¹JAMSTEC

Nitrogen isotope record of chlorophylls has a large potential as a tool for reconstructing the nitrogen cycle and its dynamics in the photic zone. In this study, we determined the nitrogen isotopic compositions of chlorophyll *a* ($\delta^{15}\text{N}_{chl}$) and pheophytin *a* ($\delta^{15}\text{N}_{Phe}$) as well as nitrate ($\delta^{15}\text{N}_{NO_3}$) collected from two sites (S1 and K2) in the northwest Pacific as a case study. Both chlorophyll *a* and pheophytin *a* were extracted from the particulate organic matter (POM) and purified by the fraction collector of high-performance liquid chromatography. The nitrogen isotopic composition of the isolated chlorophylls was determined by our ultra-sensitive elemental analyzer / isotope ratio mass spectrometry. The estimated isotopic fractionation associated with the chlorophyll synthesis is -7.9 ‰ to -13.1 ‰, confirming the previous studies. However, the $\delta^{15}\text{N}$ of POM is not consistent with those of chlorophylls, suggesting that the POM from both sites is a mixture of phytoplankton and other materials like detritus of zooplankton. The $\delta^{15}\text{N}_{chl}$ value provides pure $\delta^{15}\text{N}$ signature of phytoplankton, which is crucial for better understanding of nitrogen dynamics in the surface ocean. Chlorophylls are also buried and preserved in the sediments for long, and thus useful for the reconstruction of nitrogen cycle in the surface ocean in the geological past. In this presentation, we will summarize the evidence and discuss advantages and pitfalls of this tool for the future use in the oceanography and paleoceanography.

キーワード: 海洋窒素循環, 光合成色素, 窒素安定同位体比, 硝酸態窒素

Keywords: nitrogen isotope, oceanic photic zone, nitrogen dynamics, photosynthetic pigments, nitrate

西部北太平洋における沈降粒子上の細胞外酵素活性と細菌生産速度について Heterotrophic bacterial production and extracellular enzymatic activity in sinking particulate matter

山田 奈海葉^{1*}; 福田 秀樹²; 小川 浩史²; 齊藤 宏明³; 鈴木 昌弘¹
YAMADA, Namih^{1*}; FUKUDA, Hideki²; OGAWA, Hiroshi²; SAITO, Hiroaki³; SUZUMURA, Masahiro¹

¹ 産業技術総合研究所, ² 東京大学大気海洋研究所, ³ 水産総合研究センター東北区水産研究所
¹AIST, ²AORI, The University of Tokyo, ³Fisheries Research Agency

Heterotrophic activities on sinking particulate matter (SPM) have important role for flux of SPM. To demonstrate regional differences in heterotrophic activities on SPM, we measured heterotrophic bacterial production (HBP) in seawater and SPM as well as potential extracellular enzyme activity (EEA) in SPM on a transect along 155E in the western North Pacific Ocean in the subarctic (44N), the Kuroshio Extension area (35N), and the subtropical gyre (20N).

Samples were collected from the western North Pacific Ocean during cruise KH08-2 (Leg 2) on R/V Hakuho-maru from 23 August to 16 September 2008.

Hydrographic data were provided by a shipboard CTD profiler equipped with a carousel multi-sampling system. We obtained water-column depth profiles of dissolved nutrients including nitrate, phosphate, and silicate, Chl a, bacterial cell abundance (BA), and HBP.

We deployed standard cylindrical multi-traps, with eight acrylic trap tubes mounted at each depth. The traps were set vertically on the array line at three targeted depths of 50 m, 200 m, and 500 m at 44N, and 100 m, 200 m, and 500 m at 35 and 20N. The upper deployment depths were chosen to be just under or near the bottom of the euphotic zone. The euphotic zone was defined as the depth at which photosynthetically active radiation was 1% of the value just below the surface.

Before deployment, all trap tubes except tube for HBP and EEA in SPM on each array were filled with seawater that had been collected from 4 m below the surface at each station using the ship's pump, pre-filtered through a 0.2- μ m capsule cartridge filter to minimize biological contamination, and mixed with sodium chloride to a final concentration of 4% (w/v) to create a density gradient. Trap tube at each depth was used for collecting samples for measuring HBP and EEM in SPM, and was filled with seawater filtered as described above that was collected just before deployment from the depth corresponding to the target layer of trap deployment with a 12-L Niskin bottle. The arrays were attached to a buoy and allowed to drift freely for 24 h at 44N, and 48 h at 35 and 20N.

Upon recovery, the traps were stored upright in the dark and left to settle for 1 h. After the contents had settled, the upper portion of the trap volume above the collection cup was gently drained by siphoning. During the siphoning, only about trap tube for HBP and EEA, an aliquot of the supernatant was subsampled approximately 30 cm from the top of the tube. After siphoning was complete, the upper cylinder of the trap tube was separated from the collection cup. The particle-rich water in each collection cup was pre-screened through a 500- μ m-mesh sieve to remove swimmers and then mixed to disrupt large amorphous particles. The pre-screened filtrates were used for measurements of total mass flux of SPM, particulate organic carbon (POC) and nitrogen (PON) content, and HBP and EEA (leucine aminopeptidase (LAPase), α -glucosidase (BGase), lipase, and alkaline phosphatase (APase)).

Depth-integrated HBP in seawater from the surface to 500 m was comparable between the locations, whereas HBP in SPM at 44N was substantially lower than at the other sites. We found the highest POC export flux and export efficiency to bathypelagic depths, and the lowest water temperatures, at 44N. We found significant correlations between LAPase activity, BGase activity, POC flux and particulate organic nitrogen flux. LAPase activity was two orders of magnitude higher than BGase activity, with a BGase:LAPase activity ratio of 0.027. There were no significant correlations between HBP and EEA in SPM except for lipase, and lipase activity was significantly correlated with temperature. We propose that hydrographic conditions are an important factor controlling heterotrophic bacterial activity and export efficiency of organic carbon to the deep ocean, as are the sources and abundance of SPM produced in the euphotic zone via primary production.

MIS21-07

会場:511

時間:4月28日 10:30-10:45

キーワード: 沈降粒子, セジメントトラップ, 細菌生産, 細胞外酵素, 西部北太平洋

Keywords: Sinking particulate matter, Sediment trap, Heterotrophic bacterial activity, Extracellular enzyme activity, western North Pacific

真核生物の細胞膜に存在するステロールおよびその代替物質に関する謎 Enigmas concerning sterols and their surrogates in eukaryotic cell membranes

瀧下 清貴^{1*}; 矢吹 彬憲¹; 力石 嘉人¹; 高木 善弘¹; 吉田 尊雄¹; 大河内 直彦¹

TAKISHITA, Kiyotaka^{1*}; YABUKI, Akinori¹; CHIKARAISHI, Yoshito¹; TAKAKI, Yoshihiro¹; YOSHIDA, Takao¹; OHKOUCHI, Naohiko¹

¹ 海洋研究開発機構

¹Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

A large fraction of eukaryotes and bacteria respectively possess sterols and hopanoids, which function as potent stabilizers of cell membranes. Sterols are also associated with fluidity and permeability of eukaryotic cell membranes, and are key to fundamental eukaryotic-specific cellular processes such as phagocytosis. Several steps of *de novo* sterol biosynthesis require molecular oxygen. For example, the epoxidation of squalene is the first oxygen-dependent step in the sterol pathway; the epoxidized squalene is then cyclized to either lanosterol or cycloartenol by the enzyme oxidosqualene cyclase. In contrast, prokaryotic hopanoid biosynthesis does not require molecular oxygen as a substrate, and the squalene is directly cyclized by the enzyme squalene-hopene cyclase.

Until now, it was unclear how bacterivorous unicellular eukaryotes that are abundant in anoxic or low oxygen environments could carry out phagocytosis. These eukaryotes cannot obtain sterols from food bacteria as the latter generally lack them and sterols cannot be synthesized *de novo* in the absence of molecular oxygen. We have previously provided evidence that the molecule tetrahymanol is synthesized by some anaerobic/microaerophilic eukaryotes and possibly functions as an analogue of sterols in these organisms. Nevertheless, neither sterol, nor tetrahymanol, nor their related molecule has been found in the other anaerobic/microaerophilic eukaryotes, and so it is still enigmatic how these organisms maintain their fluid and permeable membrane system specific to eukaryotes.

One more area of confusion is regarding sterols in bivalves with chemosynthetic bacteria inhabiting areas of deep-sea hydrothermal vents and methane seeps, such as *Calyptogena* spp. and *Bathymodiolus* spp. In general, bivalves cannot synthesize sterols *de novo* and it is necessary for them to obtain these molecules from small eukaryotic prey. On the other hand, *Calyptogena* spp. and *Bathymodiolus* spp. mainly or exclusively acquire nutrients produced by their bacterial symbionts, rather than from eukaryotes rich in sterols. Nevertheless, these "chemosynthetic bivalves" contain sterols. More curiously, *Calyptogena* spp. have intermediate metabolites of phytosterols (24-methylenecycloartanol, cycloeucalenol, and obutusifoliol), while *Bathymodiolus* spp. have high amounts of cholesterol typical of animals. Little attention has been given to how chemosynthetic bivalves produce or acquire these kinds of sterols.

In my talk, I will discuss potentially controversial topics regarding sterols and their surrogates in eukaryotic cell membranes, which do not appear in biochemical and geochemical textbooks.

キーワード: 真核生物, ステロール, テトラヒマノール, 細胞膜

Keywords: eukaryotes, sterols, tetrahymanol, cell membrane

有明海沿岸干潟域の表層堆積物中のフミン酸の分析と環境評価 Structural differences of humic acid isolated from estuarine sediments at several fields around Ariake Sea

岩本 佑耶¹; 山内 敬明^{2*}; 奈良岡 浩²
IWAMOTO, Yuya¹; YAMAUCHI, Noriaki^{2*}; NARAOKA, Hiroshi²

¹九州大学大学院理学府地球惑星科学専攻, ²九州大学大学院理学研究院地球惑星科学部門

¹Dept. of Earth and Planetary Sci., Grad. School of Sci., Kyushu Univ., ²Dept. of Earth and Planetary Sci., Fac. of Sci., Kyushu Univ.

河川流域から沿岸域にかけての物質移動と、河口干潟域での有機物の状態は、河川河口域の生物学的重要性から様々な角度で注目され、分析や評価が行われている。これまで筆者らは筑後川流域近傍でのフミン酸の化学構造が地域によりどのように異なるか分析を続けてきた。また、本研究の対象地域である有明海は、赤潮や貧酸素水塊などの環境問題が発生していることから、様々な観点から環境分析がなされている。しかしながら有明海の広範な地域での堆積有機物の分析による研究は数少ない。そこで今回、有明海の北半分の広範な地域の、主に河川河口域干潟と、その他河川の影響の少ない干潟なども含めた干潟域を対象にフミン酸の元素組成や同位体比の分析を行い、地域差を比較した。そして従来のものとは異なる環境指標としてのフミン酸画分の利用を検討した。

堆積物試料採取は筑後川（筑後大堰より下流）の2か所、有明海沿岸の早津江川・六角川・浜川・菊池川・白川の河口域および荒尾干潟と多良漁港付近の干潟7か所の計9か所にて、2011年5月から2013年8月の間に行った。潮間帯干潟の表層堆積物の上位5cmほどを採取し、自然乾燥させ砕いたものを用いた。フミン酸画分は国際腐植物質学会のIHSSの土壌フミン酸抽出法に従い調製した。沿岸域のフミン酸分析法については、原子数比、安定同位体比、可視紫外吸収分析（Fooken と Liebezeit (2000) により提唱されている 270nm/407nm の比 (A2/A4) の適用) など複数の分析法を行うことで分析法の違いによる結果の違いを考察した。

得られたフミン酸の原子数比や安定同位体比、可視紫外吸収比を地域で比較すると起源物質に由来する相関がよく見られた。筑後川では上流側から河口側へ下るにつれて、分析値は陸生植物由来の陸源有機物寄与の強い値から、藻類由来の海洋有機物寄与の強い値へと変化しており、陸と海の両方面から有機物供給がなされていることが観察できた。六角川河口域と菊池川河口域も各分析値から、陸源有機物と海洋有機物がどちらも供給される環境にあると思われた。荒尾干潟および浜川河口、多良漁港付近では陸源有機物の寄与は乏しく、海洋の影響が大きかった。このうち浜川河口、多良漁港付近の2地点は有明海西側にあたり、窒素同位体比の傾向が他地域と異なっているため、有明海北西側では窒素源の供給や脱窒などの状況が特殊であることも推定された。

キーワード: 有明海, 河口干潟域, 安定同位体比, 紫外吸収, 腐植物質

Keywords: Ariake Sea, estuarine, stable isotope ratio, UV, humic substance

基底流出時の森林源頭流域の渓流水に含まれる蛍光団含有溶存有機物の起源 Origin of fluorescent dissolved organic matter in forested headwater stream during base-flow period

小原 章裕^{1*}; 大手 信人¹; 江草 智弘¹; 徳地 直子²; 木庭 啓介³; 山下 洋平⁴; 鈴木 雅一¹
OBARA, Akihiro^{1*}; OHTE, Nobuhito¹; EGUSA, Tomohiro¹; TOKUCHI, Naoko²; KOBA, Keisuke³; YAMASHITA, Youhei⁴
; SUZUKI, Masakazu¹

¹ 東京大学大学院農学生命科学研究科, ² 京都大学フィールド科学教育研究センター, ³ 東京農工大学大学院農学研究院, ⁴ 北海道大学大学院地球環境科学研究科

¹Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo, ²Field Science Education and Research Center, Kyoto University, ³Graduate School of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology, ⁴Graduate School of Environmental Science, Hokkaido University

本研究は渓流水の DOM の大部分を占める腐植物質などの蛍光団含有溶存有機物 (Fluorescent DOM ;FDOM) に着目し、基底流出時の渓流水 FDOM の起源を同定することを目的として、土壌浸透水・地下水などの FDOM との組成の比較を行った。

研究対象地は東京大学千葉演習林内の猪ノ川集水域 (集水面積 503ha) である。2009~2010 年と 2012 年に集水域内の 142 地点で渓流水と基岩湧水の水試料を採取し、また集水域の最源頭斜面の一つである袋山沢水文試験地 (2ha) で土壌水と地下水の水試料を採取した。また、集水域内の気象観測所で降水の水試料を採取した。水試料は 0.45mm のメンブレンフィルターでろ過し、DOC 濃度の測定と、三次元蛍光スペクトル分析による励起-蛍光マトリクス (Excitation-Emission Matrix ;EEM) の測定を行った。測定した全ての EEM に対して Murphy et al., (2013) に準拠した Parallel Factor Analysis を行い、異なる蛍光スペクトルを持つ 5 つの component に分解した。component の化学的特徴は既往研究との比較により次のように同定された。C1: フミン酸型腐植物質様、C2: フルボ酸型腐植物質様、C3: 微生物由来腐植物質様、C4: トリプトファン型アミノ酸様、C5: チロシン型アミノ酸様。

地下水・基岩湧水は腐植物質様 component である C1~C3 の比率によって「C1 優占グループ」「C2 優占グループ」「C3 優占グループ」に分類された。C1 優占グループに属する袋山沢の地下水は DOC 濃度が季節的に変動したが、いずれのグループも C1~C3 の比率は時間的に比較的安定しており、渓流水 FDOM の起源を同定する上での End-Member として利用できることが分かった。

渓流水の腐植物質様 component の比率は、各グループの地下水や土壌水と似通っている場合もあったが、それらの混合だけでは説明できない場合も多かった。そのような渓流水は、C3 に対して C1 と C2 の比率が高く、DOC 濃度も比較的高いという特徴があることから、渓流内における高等植物由来の DOM の溶脱が強く影響していると考えられた。その起源としては、渓流内に存在するリター・倒流木や堆積物中の有機物が考えられた。また、渓流水の大部分は地下水や土壌浸透水に比べて C5/C4 比が低く、C5 が検出されない場合も多かったことから、アミノ酸様 component のうち C5 は渓流内での生物利用などにより除去されやすいものと考えられた。

本研究により、渓流水の FDOM 中の腐植物質の生産は、集水域の斜面部で起こるのみならず、渓流内でも起きているということ、また渓流内で生産された腐植物質は斜面部由来のものとは異なる蛍光スペクトル上の特徴を持つということが示された。

キーワード: 蛍光団含有溶存有機物 (FDOM), 森林集水域, 渓流水質, 励起-蛍光マトリクス (EEM), parallel factor analysis (PARAFAC)

Keywords: fluorescent dissolved organic matter (FDOM), forested watershed, streamwater chemistry, excitation-emission matrix (EEM), parallel factor analysis (PARAFAC)

Pseudopolarographyによる琵琶湖水中銅配位子の評価 Pseudopolarographic estimation of copper complexing ligands in freshwater of Lake Biwa, Japan

丸尾 雅啓^{1*}; 小畑 元²
MARUO, Masahiro^{1*}; OBATA, Hajime²

¹ 滋賀県立大学環境科学部, ² 東京大学大気海洋研究所

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

Pseudopolarography (Croot P. L. et al., Mar. Chem., 67, 219-232 (1999), Wiramanaden C. I. E., et al., Mar Chem., 110, 28-41 (2008)) is useful method to detect metal (copper) complexation that is very stable compared with that detected by other methods: AdCSV: adsorptive cathodic stripping voltammetry, ion selective electrode etc. in water. It was applied in seawater analysis especially for coastal area where large amount of organic material with high complexing capacity was detected. Also in freshwater lake, there is high potential of existence of very stable copper complexes in water, as it sometimes includes high concentration of sulfur containing compounds and concentration of competing metals such as calcium and magnesium are very low compared with those in seawater. Existence of very stable ligands was investigated using freshwater sampled in Lake Biwa, Japan.

As reference ligands, EDTA, DPTA and CDTA were used at pH 8.8 using borate buffer solution. Copper was deposited on HDME (hanging mercury drop electrode) by varying potential from -0.2 to -1.5 V, and deposition time was 420 s. After deposition, deposited copper was stripped by scanning from the deposition potential to 0 V. Peak height was plotted against deposition potential, and half wave potential was determined. By comparing the half wave potential with that of reference ligands, stability of copper complexing ligands in the sample was estimated.

Half wave potentials measured by references were -0.4 V for EDTA, -0.58V for CDTA, and -0.65 V for DTPA, respectively. By measuring water sampled at north basin of Lake Biwa, half wave potentials at -0.5 V and -1.1 V was obtained for surface water. Only single half wave potential at -0.5 V was obtained for waters at 2m and 10m depth. Existence of strong ligands that has stability close to EDTA was detected all samples tested. These ligands were also detected by AdCSV using salicylaldehyde as competing ligands. But ligand detected at half wave potential at -1.1 V is not detected or undetectable. It might suggest significance of very stable complexes in water of Lake Biwa.

キーワード: 陸水, 琵琶湖, 銅, 配位子, 電気化学分析

Keywords: freshwater, Lake Biwa, copper, ligand, electroanalysis

河川生態系の生産基盤を明らかにするクロロフィル同位体指標の開発 Isotopic composition of chlorophylls as a new indicator of energy flow in stream ecosystems

石川 尚人^{1*}; 菅 寿美¹; 小川 奈々子¹; 大河内 直彦¹
ISHIKAWA, Naoto F.^{1*}; SUGA, Hisami¹; OGAWA, Nanako O.¹; OHKOUCHI, Naohiko¹

¹ 海洋研究開発機構
¹JAMSTEC

陸域・水域エコトーンとしての河川生態系において、河床礫表面に付着する藻類（以下、付着藻類）は、多様な生物群集を支える重要な一次生産者である。しかし、付着藻類から食物連鎖（生食連鎖）を通じて転送されるエネルギー流を正確に見積もった研究例はこれまでにない。なぜなら、河川生態学者が長年「付着藻類」と見なしてきたものは、実はさまざまな有機物の混合した「バイオフィーム」だからである。本研究は、バイオフィームから藻類のバイオマーカーであるクロロフィル類を抽出し、各種同位体比を測定することで、河川一次生産者（藻類）に由来するエネルギー流を追跡することを目的とする。そのために我々は、高速液体クロマトグラフ（HPLC）を用いてバイオフィームからクロロ色素・フェオ色素を単離・精製し、安定同位体比質量分析計（EA/IRMS）を用いて炭素・窒素安定同位体比（ $\delta^{13}\text{C}$ ・ $\delta^{15}\text{N}$ ）を測定した。本発表では、バイオフィーム全体（バルク）や藻類専食者（例：*Epeorus latifolium*: カゲロウ幼虫）の $\delta^{13}\text{C}$ ・ $\delta^{15}\text{N}$ 測定と合わせ、いくつかの河川で行った予備的な結果を報告する。さらに、これまで河川や他の水域生態系の食物網研究で用いられてきた、安定同位体マップとの違いについても議論したい。

キーワード: 付着藻類, 光合成色素, バイオマーカー, HPLC, 安定同位体比
Keywords: periphyton, photosynthetic pigments, biomarker, HPLC, stable isotopes

安定同位体比によって測定された栄養構造が示す生物多様性指標について Biodiversity indicators of trophic structure measured by stable isotope ratios

陀安 一郎^{1*}; 加藤 義和¹; 石川 尚人²; 由水 千景¹; 原口 岳¹; 奥田 昇¹; 徳地 直子³; 神松 幸弘³; 富樫 博幸⁴; 吉村 真由美⁵; 大手 信人⁶; 近藤 倫生⁷
TAYASU, Ichiro^{1*}; KATO, Yoshikazu¹; ISHIKAWA, Naoto F.²; YOSHIMIZU, Chikage¹; HARAGUCHI, Takashi, F.¹; OKUDA, Noboru¹; TOKUCHI, Naoko³; KOHMATSU, Yukihiko³; TOGASHI, Hiroyuki⁴; YOSHIMURA, Mayumi⁵; OHTE, Nobuhito⁶; KONDOH, Michio⁷

¹ 京都大学生態学研究センター, ² 独立行政法人海洋研究開発機構, ³ 京都大学フィールド科学教育研究センター, ⁴ 独立行政法人水産総合研究センター東北水産研究所, ⁵ 森林総合研究所関西支所, ⁶ 東京大学大学院農学生命科学研究科森林科学専攻, ⁷ 龍谷大学理工学部

¹Center for Ecological Research, Kyoto University, ²Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, ³Field Science Education and Research Center, Kyoto University, ⁴Tohoku National Fisheries Research Institute, Fisheries Research Agency, ⁵Kansai Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute, ⁶Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo, ⁷Faculty of Science and Technology, Ryukoku University

「生物多様性」は、遺伝子レベル、種レベル、生態系レベルの多層的な多様性と考えられている。しかし、任意のレベルの多様性を記述するのは困難であり、通常は種レベルの多様性評価が行われる。種レベルの多様性は、生態系機能とのつながりがそのままでは評価できないため、たとえば河川生態学では「摂食機能群 (FFG)」などの取りまとめ方で機能の評価が行われてきた。

われわれは、環境研究総合推進費プロジェクト研究 (4D-1102) において、安定同位体比を基にして、特に集水域河川の生物多様性の機能的側面を評価する手法の検討を行った。安定同位体手法は、森林、河川、湖、沿岸帯生態系を含む集水域の生態学における栄養塩循環や食物網構造の研究に用いられてきた。近年、アミノ酸窒素同位体比が動物の栄養段階推定に用いられてきている。しかし、本手法は水域生産と陸域生産の混合があるような複雑な淡水生態系においては用いられてこなかった。本研究において、バルク同位体比が適用できないような系でも本手法を用いることができることを確かめた。これらの手法は、生物標本を用いた生態系の長期変化にも用いることができる。また、放射性炭素を用いることにより、淡水生態系における炭素起源を推定することもできる。

これらの安定同位体比によって測定された栄養構造を、個々の分類群の定量バイオマス調査とともに用いることにより、集水域河川の新たな生物多様性指標について提案する。

キーワード: 安定同位体比, 食物網, 栄養段階

Keywords: Stable isotope ratios, Food web, Trophic position

溶存酸素の三酸素同位体組成を利用した貧栄養・中栄養水圏環境下の総一次生産量 定量

Vertical distribution of the triple oxygen isotopic compositions of DO in oligotrophic/mesotrophic environments

角皆 潤^{1*}; 南 翔¹; 佐久間 博基¹; 小松 大祐¹; 中川 書子²

TSUNOGAI, Urumu^{1*}; MINAMI, Sho¹; SAKUMA, Hiroki¹; KOMATSU, Daisuke¹; NAKAGAWA, Fumiko²

¹名古屋大学環境学研究科, ²北海道大学大学院理学研究院

¹Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, ²Faculty of Science, Hokkaido University

天然の酸素原子には、質量数が 16、17、18 の 3 種の安定同位体が存在し、その相対存在比は、自然界の諸過程（化学反応など）において、微小に変動（＝同位体分別）する。光合成や呼吸の際に進行する一般の同位体分別では、¹⁶O に対する ¹⁷O の濃縮度が、¹⁶O に対する ¹⁸O の濃縮度の約半分になるように同位体分別するのに対して、成層圏で進行するある種の光化学反応では、¹⁶O に対する ¹⁷O の濃縮度が、¹⁶O に対する ¹⁸O の濃縮度とほぼ等しくなるような同位体分別が起こる。このため、大気中の酸素分子（O₂）と、光合成で生成する O₂ の同位体組成を比較すると、¹⁷O の濃縮度と ¹⁸O の濃縮度の相対値（＝三酸素同位体組成）に差が見られる。三酸素同位体組成は、呼吸などの一般の同位体分別では変化しないので、海洋や湖沼等の表面水（＝混合層）中の溶存酸素分子（DO）の三酸素同位体組成を定量化することで、その DO 中の大気由来の酸素 O₂ と光合成由来の O₂ の混合比が高精度で定量化出来る。さらに表面水と大気との間の O₂ 交換速度を別法から見積もることで、求めた大気由来の酸素 O₂ と光合成由来の O₂ の混合比から、表面水中の総一次生産量を定量化することが出来る（Luz et al., 1999）。総一次生産量の定量には、明暗瓶法や ¹⁴C トレーサー法等の培養による定量が従来は用いられてきたが、この DO 中の三酸素同位体組成を利用する本手法は現存量だけで定量可能であり、培養する必要は無い。このため、簡易かつ高確度の総一次生産量定量法として、広く普及しつつある。

しかし、この DO の三酸素同位体組成を利用して求めた総一次生産量は、あくまで表面水（＝混合層）中の総一次生産量であり、大気との間でガス交換しない季節躍層以深で進行する光合成による総一次生産量は、ほとんど算入されていない。このため、特に混合層が薄い時期（春季や夏季）の観測で求めた総一次生産量は、水柱積算した真の総一次生産量よりも過小評価されている可能性がある。また混合層が薄い時期に過小評価された場合には、逆に混合層が深くなる時期（冬季）には、過大評価されることになる。これは特に、(1) 表面水中のガス交換が不活発な陸水系や、(2) 躍層以深でも一次生産が進行する貧栄養環境、で特に影響が大きくなる。そこで本研究では、貧栄養環境である支笏湖や倶多楽湖、さらに中栄養環境である琵琶湖北湖で DO の三酸素同位体組成の鉛直分布を、その時間変化とともに定量化してその影響を評価したので、結果を報告する。

キーワード: 貧栄養, 中栄養, 溶存酸素, 三酸素同位体, 鉛直分布, 季節変動

Keywords: oligotrophic lake, mesotrophic lake, dissolved oxygen, triple oxygen isotopes, vertical profile, seasonal variation

氷河・氷床の生物地球化学—雪氷微生物による氷河の暗色化と物質循環 Biogeochemistry on glaciers and icesheets ? Microbial process of glacier darkening and material cycles

竹内 望^{1*}
TAKEUCHI, Nozomu^{1*}

¹ 千葉大学
¹Chiba University

地球表層の淡水の約8割を保持する氷河や氷床は、近年の全球規模の気温上昇、いわゆる地球温暖化によるその質量の急激な縮小が注目されている。氷河や氷床の表面には、寒冷環境に適応した特殊な生物群集が存在する。雪氷藻類と呼ばれる光合成微生物が夏の融解期に繁殖して有機物を生産、さらにその有機物に依存した従属性のバクテリアや小型動物が氷河表面で活動している。このような雪氷生物由来の有機物が氷河氷床上に堆積すると、もともと白い表面が暗色化する。氷河の暗色化はアルベドの低下によって日射の吸収を増やし、雪氷の融解を促進する効果がある。したがって、氷河や氷床の変動の評価には、単に気候変動に対する物理的な応答だけでなく、氷河を生物群集を含む生態系として認識し、生物地球化学的な炭素や窒素の循環過程を定量的に把握することが重要となる。ここでは、世界各地の氷河、特に微生物活動が比較的活発なアジアの氷河や、近年になって暗色化が進んでいる北極圏グリーンランド氷床などの生態系の特性を比較しながら、氷河の生物地球化学研究の現状と今後の課題を紹介する。

キーワード: 氷河, グリーンランド, アルベド, 藻類, 微生物, 炭素循環
Keywords: glacier, Greenland, albedo, algae, microbe, carbon cycle

河川への人為起源窒素の負荷が水棲生物の食物網構造に与える影響 How does anthropogenic nitrogen input affect the nutrient dynamics and food web structures?

大手 信人^{1*}; 富樫 博幸³; 徳地 直子²; 吉村 真由美⁶; 加藤 義和⁷; 石川 尚人⁵; 近藤 倫生⁴; 陀安 一郎⁷
OHTE, Nobuhito^{1*}; TOGASHI, Hiroyuki³; TOKUCHI, Naoko²; YOSHIMURA, Mayumi⁶; KATO, Yoshikazu⁷; ISHIKAWA, Naoto F.⁵; KONDO, Michio⁴; TAYASU, Ichiro⁷

¹ 東京大学大学院農学生命科学研究科森林科学専攻, ² 独立行政法人水産総合研究センター東北区水産研究所, ³ 京都大学フィールド科学教育研究センター, ⁴ 森林総合研究所関西支所, ⁵ 京都大学生態学研究センター, ⁶ 独立行政法人海洋研究開発機構, ⁷ 龍谷大学理工学部

¹Graduate School of Agricultural and Life Sciences, University of Tokyo, ²Tohoku National Fisheries Research Institute, Fisheries Research, ³Field Science Education and Research Center, Kyoto University, ⁴Kansai Research Center, Forestry and Forest Products Research, ⁵Center for Ecological Research, Kyoto University, ⁶Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, ⁷Faculty of Science and Technology, Ryukoku University

In last five decades, impacts of anthropogenic nutrient inputs on river ecosystems have continuously been a major concern for the governments and residents of the catchments in Japan. Major sources of anthropogenic nitrogen (N) include leachate from forest ecosystem, surplus fertilizers and sewage. Impacts of anthropogenic N inputs on nutrient dynamics and food web structures were investigated using stable N isotope techniques in the Arida river catchment, Japan. Riverine survey utilizing 5 regular sampling points showed that $\delta^{15}\text{N}$ of nitrate (NO_3^-) increased from forested upstream ($\sim 2\text{‰}$) to the downstream ($\sim 7\text{‰}$) due to the sewage loads and fertilizer effluents from agricultural area. Correspondingly the $\delta^{15}\text{N}$ of benthic algae and aquatic insects increased toward the downstream. This indicates that primary producers of each reach strongly relied on the local N sources and it was utilized effectively in their food web. Simulation using a GIS based mixing model considering the spatial distributions of human population density and fertilizer effluents revealed that strongest impacts of N inputs was originated from organic fertilizers applied to orchards in the middle to lower parts of catchment. Differences in $\delta^{15}\text{N}$ between primary producers and predators were $\sim 6\text{-}7\text{‰}$ similarly at all sampling points. Food web structural analysis using food network unfolding technique based on observed $\delta^{15}\text{N}$ suggested that the structure of nutrient pyramid did not differ significantly along the riverine positions, while the members of species in each trophic level changed and the impact of anthropogenic N input was visible along the river.

キーワード: 河川生態系, 窒素負荷, 安定同位体比, 食物網構造
Keywords: river ecosystem, nitrogen input, stable isotope, food web

湖沼の好気環境に出現するメタン極大の形成プロセス Aerobic methane production in oxygenated water column of a lake ecosystem

岩田 智也^{1*}; 小林 あい¹; 内藤 あずさ¹; 小島 久弥²
IWATA, Tomoya^{1*}; KOBAYASHI, Ai¹; NAITO, Azusa¹; KOJIMA, Hisaya²

¹ 山梨大学, ² 北海道大学
¹University of Yamanashi, ²Hokkaido University

湖沼から大気へのメタン放出量は、全球規模のメタン収支に大きく影響している。従来、湖沼から放出されるメタンは湖底付近の嫌気環境で生成したものと考えられてきた。しかし、我々は多くの湖沼において好気環境にメタン極大が出現することを明らかにしている。このメタン極大の形成プロセスには、強いリン律速下における微生物の有機リン代謝が関与している可能性が考えられる (Karl et al. 2008)。しかし、好氣的メタン生成の機構とそれに関与する微生物は未だ明らかとはなっていない。そこで本研究では、制限栄養元素、代謝および基質が好氣的メタン生成に及ぼす影響をバッチ培養により明らかにするとともに、浮遊性細菌群集の鉛直分布を CARD-FISH 法により定量化して溶存メタン濃度の季節変化との対応関係を評価する。これにより、湖における好氣的メタン生成に関与する微生物と代謝プロセスを特定することを目的とする。

調査は、山梨県西湖にて行った。2013年3月-12月に湖内の4地点において定期的に採水を行い、湖内における溶存メタン濃度の鉛直・水平分布とその季節変化を調査した。また、好氣的メタン極大が出現した7月には水深7.5mから湖水を採取し、メタン生成過程を明らかにするための室内培養実験を行った。実験1ではDINおよびDIPが好氣的メタン生成に及ぼす影響を、実験2では各種阻害剤 (BES, DFM, 遮光) がメタン生成速度に及ぼす影響を、実験3では有機リン化合物であるメチルホスホン酸 (MPn) がメタン生成速度に及ぼす影響を評価した。各実験とも4-5日間のバッチ培養を行い、処理区間でメタン生成速度を比較することで、制限栄養元素濃度や微生物代謝およびホスホン酸の有無が好氣的メタン生成に及ぼす影響を評価した。また、CARD-FISHでは、3月、5月、7月および10月に採水した湖水試料に4つのプローブ (EUB338, CYA361, Mg84+Mg705, 405_Syn) をハイブリダイズさせ、浮遊性細菌群集の分布を定量化した。

野外調査の結果から、西湖では夏期において水温躍層近傍に巨大なメタン極大が出現することが明らかとなった。また、このメタン極大周辺では溶存酸素濃度も上昇していた。湖底や沿岸帯、大気からメタンが供給された痕跡はなく、現場にて好気性生物によりメタンが生成しているものと考えられた。培養実験では、栄養塩を添加した実験1および阻害剤を添加した実験2とともに、全ての処理区でメタン生成は確認されなかった。一方、ホスホン酸を添加した実験3ではMPnの添加によりメタン濃度が大きく上昇した。この結果は、C-P リアーゼによりホスホン酸のC-P結合が開裂し、メタンが生成していることを示唆している。C-P リアーゼ遺伝子はシアノバクテリアなどの様々な微生物が有しており (Karl et al. 2008)、基質であるMPnは一部の浮遊性古細菌によって合成されることも発見されている (Metcalf et al. 2012)。このことから、湖沼の好気環境に出現するメタン極大も、C-P リアーゼを有する微生物のMPn代謝によって形成されていると考えられた。次に浮遊性細菌群集の鉛直分布を見ると、シアノバクテリア (CYA361) や *Synechococcus* (405_Syn) の細胞密度の鉛直分布が、メタン濃度の鉛直プロファイルに一致していた。また、CYA361と405_Synの季節変化はメタン濃度の季節消長によく一致しており、シアノバクテリアのなかでもC-P リアーゼを有する *Synechococcus* が好氣的メタン生成に関与している可能性がきわめて高いと考えられた。

本研究結果から、湖沼の好気環境におけるメタン生成には微生物によるMPn分解が関与していると考えられた。とくに、海洋ではシアノバクテリアのMPn代謝によってメタンが生成することが報告されており (Karl et al. 2008)、CARD-FISHによるCYA361や405_Synの鉛直分布の結果もその可能性を支持している。湖沼においてもシアノバクテリアの有機リン代謝がメタン極大の形成に大きく関わっているものと考えられる。

キーワード: 好氣的メタン生成, シアノバクテリア, シネココッカス, メチルホスホン酸, リン欠湖沼
Keywords: Aerobic methane production, cyanobacteria, *Synechococcus*, methylphosphonic acid, P-deficient lake

窒素肥料および窒素降下物による全球陸域窒素循環の改変 Effect of fertilizer use and N deposition on global terrestrial nitrogen cycling in 1960-2010

仁科 一哉^{1*}; 伊藤 昭彦¹; 花崎 直太¹; 眞崎 良光¹
NISHINA, Kazuya^{1*}; ITO, Akihiko¹; HANASAKI, Naota¹; MASAKI, Yoshimitsu¹

¹ 国立環境研究所

¹National Institute for Environmental Studies

Human activities have considerably disturbed terrestrial nitrogen cycling especially after the industrial revolution. Because Harbor-Bosch techniques and fossil fuel combustions have been large sources of reactive nitrogen to the terrestrial ecosystems. The recent N loading derived from these sources on terrestrial ecosystems was estimated 2 times higher than biogenic N fixation in terrestrial ecosystems (Gruber et al., 2009). In this study, we evaluated N fertilizer and N deposition on global terrestrial N cycling using ecosystem model 'VISIT' and global datasets. For the cropland, we made spatial temporal explicit N fertilizer input data (as NH₄⁺ and NO₃⁻ respectively) made by FAO statistics, historical land-use dataset and global crop calendar in SAGE dataset. For N deposition, we used global grid data from Galloway et al. (2004) with simple interpolation in time-series. From the simulation results, we evaluated historical N cycling changes by land-use changes and N depositions in N cycling (e.g., N leaching, N₂O, NO) at global scale.

キーワード: 窒素肥料, 窒素降下物, 亜酸化窒素, 土地利用変化, N 溶脱
Keywords: N fertilizer, N deposition, N₂O, Land use change, N leaching

操作実験により検証する土壌微生物群集における多様性と群集機能の安定性の関係 The diversity-stability relationship in soil microbial community investigated by a diversity-manipulation experiment

潮 雅之^{1*}
USHIO, Masayuki^{1*}

¹ 京都大学生態学研究センター
¹ Center for Ecological Research, Kyoto University

生物群集の多様性が群集機能の安定性とどのように関係しているかということは、従来、生態学・環境科学において重要な疑問であった。しかしながら、微生物群集が生態系の物質循環に果たす役割の大きさにも関わらず、目に見えるマクロな生物の多様性-安定性の関係に比べると、眼に見えない微生物の多様性-安定性の関係はあまり研究されてこなかった。その理由の一つとして、微生物はその小ささと多様性の高さ故に、マクロな生物（例えば、草本）では可能な多様性/群集組成の操作実験が非常に難しいことが挙げられる。しかし、系統的に粗いスケールであれば、分類群特異的な殺菌剤を利用することで群集組成の操作が可能である。

そこで本発表では、細菌特異的な殺菌剤（オキシテトラサイクリン）、真菌特異的な殺菌剤（シクロヘキシミド）を使用し、群集組成を大雑把に操作した土壌を作成し外的環境の変化に対して群集機能の安定性を定量した。ここでは、細菌を排除した区を「真菌区」、真菌を排除した区を「細菌区」、何も排除しない区を真菌と細菌が共存し他の2つの区よりも多様性が高い「共存区」とみなした。群集機能として有機物分解過程を駆動する土壌微生物群集の細胞外酵素の活性（炭素、リン、窒素の分解に関わる酵素活性）と土壌呼吸速度を測定した。外的要因として古典的には分解速度をコントロールすると考えられてきた植物リターの質を選び、その質を人工的に変化させて土壌に添加する実験を行った。

その結果、土壌呼吸速度は真菌区と細菌区では植物リターの質の変化に応答して変化した。一方で、共存区では他の区ほど明瞭に植物リターの質の変化に応答していなかった。また、土壌酵素活性に関しても同様の傾向が見られ、共存区では、他の区よりも活性の植物リターの質への依存性が低かった。さらに脂質バイオマーカーで土壌微生物群集の組成の変化を調べたところ、共存区で最も植物リターの質の変化に対して応答していた。これらの結果は、多様な微生物が共存する土壌では、群集組成が外的要因（植物リターの質）の変化を打ち消すように変化する、結果として外的要因に対してより安定な群集機能（分解活性）が実現されたと解釈できる。

本研究は、分類群特異的な殺菌剤を用いるという非常に粗いスケールでの操作実験であるため、結果の解釈には注意が必要である。例えば、細菌特異的な殺菌剤で排除しきれない細菌も数多く存在するだろう。従って、より高い精度で群集組成を操作する技術の開発が、微生物の多様性-安定性、もしくは多様性-機能の関係を明らかにするために必要である。本発表では、今回得られた成果の解釈に加え、どのような技術が将来的に微生物群集を高い精度で操作する技術に発展しうるか、その可能性についても議論したい。

キーワード: 安定性, 酵素活性, 呼吸速度, 殺菌剤, 多様性, 土壌微生物群集

Keywords: biocides, enzyme activity, diversity, soil microbial community, soil respiration rate, stability

アロフェン質と非アロフェン質黒ぼく土に含まれるリンの化学状態に基づく生物学的利用率の評価
Determination of phosphorus species and bioavailability in allophanic and non-allophanic Andisols

高本 慧^{1*}; 橋本 洋平¹; 和穎 朗太²
TAKAMOTO, Akira^{1*}; HASHIMOTO, Yohey¹; WAGAI, Rota²

¹ 東京農工大学, ² 独・農業環境技術研究所

¹Tokyo University of Agriculture and Technology, ²National Institute for Agro-Environmental Sciences

Andisols have high phosphorus (P) retention capacity due to abundant active aluminums (Al) and irons (Fe). Such characteristics result in a significant inhibition of plant growth in Andisols, if not properly managed. Andisols are categorized into two groups on the basis of the difference in the clay mineral compositions. One group is called as allophanic Andisols, including allophane and imogolite in the clay fraction. The other is called as non-allophanic Andisols, including Al- and Fe- humus complexes and 2:1 phyllosilicates. These soil colloids are considered a major cause of high P retention capacity of allophanic and non-allophanic Andisols. Soil P forms have been investigated using chemical extraction methods. Chemically extracted P fractions of H₂O-P and NaHCO₃-P are considered readily soluble P, while NaOH-P is modelately labile P associated with Al and Fe, and HCl-P is apatite-like P. However, there are no studies determining chemical species and hosting phases of P in allophanic and non-allophanic Andisols at the molecular levels. This study was conducted to characterize the species and sorption hosts of P in allophanic and non-allophanic Andisols using Hedley's sequential P extraction method, solution ³¹P-NMR and X-ray absorption near-edge structure (XANES) spectroscopy. For revealing the behavior of P in soils precisely, it is required to separate the different soil colloids along with their density and then identify P speciation and hosting mineral phases. This study used a density separation method that can classify soil colloids including humus and Al/Fe (oxy)hydroxides by their density.

The total concentration of P in the allophanic and non-allophanic Andisols was 6.2 g P kg⁻¹. The sequential fractionation of bulk soil showed that the largest P pool of both allophanic and non-allophanic Andisols was NaOH-P. The density fractions of 2.0-2.25, 2.25-2.5, and >2.5 g cm⁻³ accounted for 88% of allophanic Andisols, and among five fractions, the 2.0-2.25 g cm⁻³ fraction was largest (44%). On the other hand, the density fractions of 1.8-2.0, 2.0-2.25, 2.25-2.5, and >2.5 g cm⁻³ accounted for 88% of non-allophanic Andisols. The sequential fractionation of allophanic Andisols showed that the NaOH fraction had a large proportion of inorganic P (Pi, 76-92%) and organic P (Po, 72-99%). The sequential fractionation of non-allophanic Andisols also showed NaOH-Pi (46-83%) and Po (54-97%) were consisted largely of phosphorus pool, with exceptions in >2.25 g cm⁻³ fractions. The results combined with the density separations and sequential extraction indicated that i) P in allophanic and non-allophanic soils is primarily associated with Fe and Al minerals, ii) Pi and Po in the 2.0-2.25 g cm⁻³ fraction accounted largely for the total P of allophanic Andisols (Pi: 61%, Po: 68%), iii) Pi and Po in 1.8-2.0 g cm⁻³ fraction accounted largely for allophanic Andisols (Pi: 48%, Po: 64%). According to the solution ³¹P-NMR results, orthophosphate monoester accounted largely for Po in allophanic and non-allophanic Andisols. Further investigations on XANES and NMR spectroscopy will be presented for more detailed P speciation in the soils.

キーワード: リン, 生態系, 黒ボク土

Keywords: phosphorus, ecosystem, Andisols

炭化板を用いた大気中水銀用パッシブサンプラーの開発 Development of a carbonized wood passive sampler for atmospheric mercury

大熊 明大^{1*}; 佐竹 研一¹
OKUMA, Akihiro^{1*}; SATAKE, Kenichi¹

¹ 立正大学 地球環境科学部

¹ Geo-environmental Sci, Rissho Univ

[はじめに]

水銀は有害物質である事から UNEP や WHO などの機関で水銀の使用量や放出量の削減を求めている。その結果、世界的には減少傾向にあるが、東南アジアや中国などの経済発展の著しい国ではライフラインの確保のために火力発電所の増設、金の採掘や精錬に水銀の需要が高まり水銀の放出量が増加していることが報告されている。大気中に放出された水銀の 95 % 以上がガス状水銀 (Hg^0) であり、溶解度が低いため大気中での滞留時間が 1~2 年と長い。そのため、発生源から遠く離れた地域においても影響を及ぼす事が指摘されている。また、大気から地表面へ降下した水銀は毒性のより強い有機水銀となり、食物連鎖によって生物濃縮され、生態系や人体に影響を与えることが懸念されており、そのため大気中水銀のモニタリングは重要である。現在の大気中水銀のサンプリング方法は 500mL min^{-1} で吸引し金アマルガム粒子充填管に吸着させるアクティブサンプラーである。しかし、高価で維持管理が難しく、設置スペースや電源の制約もあり、広範囲にわたる調査が難しい事が多い。本研究では、炭の吸着能に着目し、大気中水銀用の簡易パッシブサンプラーを作成し、試験した。

[研究方法]

$2.5\text{cm} \times 4.5\text{cm} \times 1.5\text{cm}$ に杉心材を加工し、電気炉を用いて 300°C で 2 時間加熱し炭化板を作成し、両面テープを直径 5.5cm のアクリル製シャーレに貼り付け北海道大学雨龍研究林、北海道大学札幌キャンパス、立正大学熊谷キャンパス、群馬県六合入山、金沢大学、鳥取大学、広島大学東広島キャンパス、タイの Chiang Mai 大学に設置し、1 ヶ月間毎に回収し合計 3 ヶ月間分の測定を行った。また、埼玉県環境科学国際センターでは 1 ヶ月間毎に回収し合計 5 ヶ月間分の測定し並行して、また並行して金アマルガム捕集管に吸引捕集し、設置期間中の大気中水銀濃度を測定した。

[結果]

全ての設置地点において月日の経過と共に水銀沈着量が増加した。埼玉県環境科学国際センターで行った結果、炭化板中の水銀沈着量は 0.39 (33 日間)、0.44 (64 日間)、0.63 (95 日間)、0.86 (127 日間)、0.91 (158 日間) ng Hg cm^{-2} であり、相関係数が 0.95 であった。設置期間中の大気中水銀濃度は $2.0\sim 2.6\text{ng Hg m}^{-3}$ と略安定していた事から、大気中水銀濃度が安定している大気では、安定した沈着速度で炭化板に沈着する事がわかった。

実際の大気中水銀濃度に対する応答性を調べた結果 $y=14.7x$ 、相関係数 0.95 と良好な相関が認められた。これらの結果から、炭化板は大気中水銀用パッシブサンプラーとなる可能性があり、アクティブサンプラーでは困難な場所での調査にも使用可能である事がわかった。

キーワード: 水銀, 炭化板, 簡易パッシブサンプラー, 大気汚染モニタリング
Keywords: mercury, carbonized wood, passivesamplerq, monitoring of air pollution

京都北部ブナ林における溶存有機物生成のメカニズムと規定要因 Mechanisms and regulating factors of dissolved organic matter production in beech forest soils in northern Kyoto

藤井 一至^{1*}; 中田 裕治²; 吉田 誠²; 早川 智恵³; 杉原 創³; 舟川 晋也³

FUJII, Kazumichi^{1*}; NAKADA, Yuji²; YOSHIDA, Makoto²; HAYAKAWA, Chie³; SUGIHARA, Soh³; FUNAKAWA, Shinya³

¹ 森林総合研究所, ² 東京農工大学, ³ 京都大学

¹Forestry and Forest products Research Institute, ²Tokyo University of Agriculture and Technology, ³Kyoto University

In forest ecosystems, most of the organic matter supplied to the organic layer mineralizes to CO₂, but a proportion (~30%) is leached as dissolved organic matter (DOM), as soil water percolates. DOM plays important roles in carbon and nutrient cycling in forest soils, however, the controlling factors and mechanisms of DOM production remain to be clarified. Since DOM contains high concentrations of aromatic compounds derived mainly from lignin, the roles of microorganisms in lignin solubilization and DOM production were investigated under field condition.

The concentrations and fluxes of dissolved organic carbon (DOC) in soil solution were quantified under beech forest in northern Kyoto. The activities of lignin-degrading enzymes, lignin peroxidase (LiP) and manganese peroxidase (MnP), and fungal community composition were analyzed.

The DOC fluxes increased in the organic layer (344 kg C ha⁻¹ yr⁻¹), followed by a decrease with depth in the mineral soil layers (20 kg C ha⁻¹ yr⁻¹). The seasonal fluctuation of DOC concentrations showed that DOC production increased in summer with increasing temperature, highlighting the importance of microbial activity to DOM production. The activities of both lignin-degrading enzymes, MnP and LiP, were detected in the organic layers, and several potential producers of enzymes, namely basidiomycete fungi, were also identified. These findings could support the central roles of fungi in lignin solubilization and DOC production in organic layers under beech forest in northern Kyoto, where the large fluxes of DOM leaching was observed.

斜面森林土壌における亜硝酸の動態と制御要因について Soil nitrite transformation along a forest slope and controlling factors

黒岩 恵^{1*}; 磯部 一夫¹; 加藤 宏有¹; 村林 翔¹; 金子 由佳¹; 小田 智基¹; 大手 信人¹; 大塚 重人¹; 妹尾 啓史¹
KUROIWA, Megumi^{1*}; ISOBE, Kazuo¹; KATO, Hiroyu¹; MURABAYASHI, Sho¹; KANEKO, Yuka¹; ODA, Tomoki¹; OHTE, Nobuhito¹; OTSUKA, Shigeto¹; SENOO, Keishi¹

¹ 東京大学農学生命科学研究科

¹Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo

We conducted a tracer study to clarify the spatial heterogeneity of nitrite (NO_2^-) dynamics in forest soils. Because of its reactive nature, NO_2^- does not usually accumulate in forest soils. This low concentration and experimental difficulties of accurate quantification have hampered quantitative detailed analyses of gross NO_2^- production and consumption in terrestrial environments. However, NO_2^- is an intermediate in many N transformation processes including nitrification and denitrification. Furthermore NO_2^- can also be reduced to gaseous N and react with organic matter not only biologically but also chemically. Thus NO_2^- dynamics may control whole N retention/emission characteristics in forest soils.

We added $^{15}\text{NO}_2^-$ to mineral top soils derived from a slope of a Japanese cedar forest. Primary properties of soils such as concentration of inorganic N, pH and water content differed geographically; N concentration, pH and water content are lower in the upper soils. NO_2^- production and consumption rates gradually increased from upper slope to lower slope. Quite short mean residence time of NO_2^- implies that NO_2^- consumed very rapidly anywhere in slope. The dominant pathway of NO_2^- consumption change geographically. It is suggested that the conversion to DON and gaseous N is more important in upper soils. On the other hand, conversion to NO_3^- (nitrification) is dominant in lower soils.

At this presentation, we focus on geographical difference of NO_2^- dynamics and their regulation by environmental factors.

キーワード: 森林土壌, 亜硝酸, ^{15}N トレーサー, 溶存有機態窒素, 硝化

Keywords: Forest soil, Nitrite, ^{15}N tracer, Dissolved organic nitrogen, Nitrification

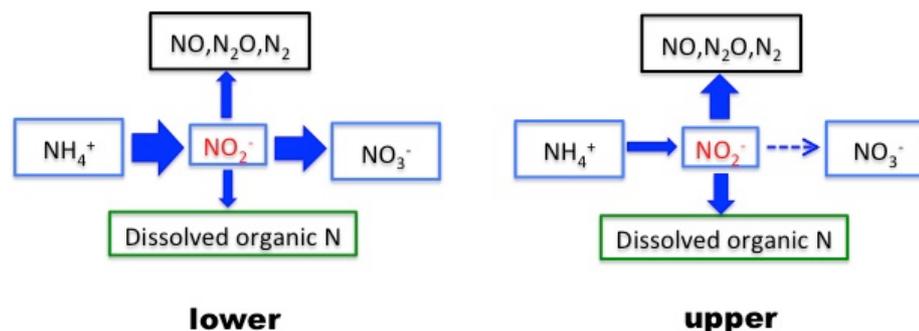


Fig.1 Schematic picture of nitrite dynamics along a forest slope.
Difference between upper and lower soils.

森林生態系における大気降下物由来硝酸イオンの利用率に関する研究 The availability of atmospheric nitrate in a forested ecosystem

尾坂 兼一^{1*}; 小牧 直人¹; 川村 湧也¹; 村田 哲也¹; 久郷 達朗¹; 中村 高志²; 西田 継²; 永淵 修¹
OSAKA, Ken'ichi^{1*}; KOMAKI, Naoto¹; KAWAMURA, Yuya¹; MURATA, Tetsuya¹; KUGO, Tatsuro¹; NAKAMURA,
Takashi²; NISHIDA, Kei²; NAGAFUCHI, Osamu¹

¹ 滋賀県立大学環境科学部, ² 山梨大学国際流域環境研究センター

¹University of Siga prefecture, school of environmental science, ²University of Yamanashi, ICRE

Nitrogen is an important element for forest ecosystems; shortage of nitrogen limits plant growth [Vitousek and Howarth, 1991], however, nitrogen discharged from forested ecosystems link to various environmental problems, such as eutrophication of aquatic ecosystems and deterioration of drinking water quality. Recently, atmospheric nitrogen deposition into terrestrial ecosystems is increasing [Galloway et al., 2008]. However, influence of the increase of atmospheric nitrogen deposition on forested ecosystem is not clear because the interaction between nitrogen input/output and inner nitrogen cycle is not sufficiently understood. In this study, to clarify the interaction between nitrogen input/output and inner nitrogen cycle, we investigate the atmospheric nitrate discharge rate from forested watershed and discuss the availability of atmospheric nitrate deposited into forested watersheds.

キーワード: 森林流域, 安定同位体比, 硝酸イオン, 大気降下物

Keywords: forested watershed, stable isotope, nitrate, atmospheric deposition

ヒノキ林における樹冠葉量と窒素吸収量の推定 Estimation of leaf biomass and nitrogen uptake in a hinoki cypress forest

稲垣 善之^{1*}; 酒井 敦¹; 宮本 和樹¹
INAGAKI, Yoshiyuki^{1*}; SAKAI, Atsushi¹; MIYAMOTO, Kazuki¹

¹ 森林総合研究所

¹ Forestry and Forest Products Research Institute

森林生態系において窒素吸収量は、リターフォールの窒素量と地上部現存量増加分に存在する窒素量を加えて算出する。リターフォールは、リタートラップによって、幹現存量の増加は直径と樹高の測定によって比較的精度よく推定することができる。しかし、これまで樹冠葉量を精度よく推定することが困難であった。直径と樹高から樹冠葉量を推定する方法が多く用いられるが、閉鎖林分における枝の枯れ上りを考慮することができない点が問題であった。一方、既往の研究で樹冠の生枝下高における幹断面積と樹冠葉量は、森林の管理状態に関わらず高い相関関係を示すことが知られているが、生枝下高における幹直径の計測は困難であった。近年、これらの問題点を解決するために、生枝下断面積を樹高、生枝下高、胸高直径から簡易に推定する手法が提案された。この方法で様々な生態系における葉量を精度よく推定することが期待されるが、その有効性は日本の代表的な造林樹種であるヒノキについては明らかでない。本研究では、この簡易手法を高知県の2地域のヒノキ林における伐倒調査の結果に当てはめ、有効性を明らかにするとともに、得られた関係式を長期にわたって幹成長を観測している高知県のヒノキ林分に当てはめて、林齢の変化に伴う葉量と窒素吸収量の変化を明らかにすることを目的とする。

樹冠葉量と樹高、生枝下高、胸高直径の関係を明らかにするために、高知県の標高の異なる2つの地域において調査を行った。サイズの異なるヒノキを合計で14個体伐採し葉量を計測した。葉量 (Wleaf) は、樹高 (H)、生枝下高 (Hb)、胸高断面積 (A1.3) と次の式によって近似することができた。

$$W_{\text{leaf}} = 1.02[0.0364 \times AB^{1.10}] \quad (r^2 = 0.926, p < 0.0001)$$

ここで $AB = A1.3[(H - Hb) / (H - 1.3)]$ を示す。2つの地域で回帰式に有意な差は認められず、標高の異なる林分でも同一の式で葉量を推定することが可能であった。

高知県のヒノキ林分において、同一林分を20年間観測し、林齢の変化に伴う窒素吸収量と葉、幹生産の関係を明らかにした。21年生から41年生における7つの時期(21-22、23-24、25-27、28-30、31-32、39-41年生)において、樹冠葉量を求めた。樹冠葉量は、前述の関係式によって算出した。胸高直径と樹高から幹現存量を求めた。リタートラップで計測した落葉量に樹冠葉量の増分を加えて葉生産量とした。落葉窒素量、樹冠窒素の増分、幹成長の窒素増分を合計したものを窒素吸収量とした。葉と幹生産量の合計を窒素吸収量で割って窒素利用効率を算出した。葉量、葉生産量、幹生産量、窒素吸収量、窒素利用効率と林齢には有意な相関関係は認められなかった。窒素吸収量が大きいくほど、葉生産量は大きく、樹冠葉量が大きい傾向が認められたが、幹生産量には有意な相関は認められなかった。窒素吸収量が大きいくほど窒素利用効率が低い傾向が認められた。以上の結果より、本研究でヒノキ林分における樹冠葉量の変動を精度よく推定することができた。ヒノキの窒素利用様式は林齢に伴う明瞭な変動を示さないが、ヒノキは窒素吸収量の少ない時期には窒素を効率的に利用して幹生産を維持することが示唆された。

キーワード: ヒノキ, 葉量, 幹, 窒素, 林齢

Keywords: hinoki cypress, leaf biomass, Stem, nitrogen, forest age