

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

\*重光 雅仁<sup>1</sup>、村田 昌彦<sup>1</sup>、山中 康裕<sup>2</sup>

\*Masahito Shigemitsu<sup>1</sup>, Akihiko Murata<sup>1</sup>, Yasuhiro Yamanaka<sup>2</sup>

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<sup>1</sup>、尾坂 兼一<sup>2</sup>、鈴木 悠平<sup>2</sup>、山田 早紀<sup>2</sup>、丸尾 雅啓<sup>2</sup>、中村 高志<sup>3</sup>、西田 継<sup>3</sup>

\*Naoya Tsuchihashi<sup>1</sup>, Ken'ichi Osaka<sup>2</sup>, Yuhei Suzuki<sup>2</sup>, Saki Yamada<sup>2</sup>, Masahiro Maruo<sup>2</sup>, Takashi Nakamura<sup>3</sup>, Kei Nishida<sup>3</sup>

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<sup>1</sup>、岩田 智也<sup>1</sup>

\*Yuuta Ikeda<sup>1</sup>, Tomoya Iwata<sup>1</sup>

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 $v_f$  ( $\text{cm/s}$ )、栄養塩原子が河床に到達するまでに流下する平均距離 $S_w$  ( $\text{m}$ )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、 $\text{NH}_4$ 、 $\text{NO}_2$ 、 $\text{NO}_3$ および $\text{PO}_4$ 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 $k$  ( $\text{m}^{-1}$ )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。 $\text{NH}_4$ の取り込み速度 $U_{\text{NH}_4}$ は全ての月・区間で正の値を示した。一方、 $U_{\text{NO}_2}$ や $U_{\text{NO}_3}$ 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。 $U_{\text{PO}_4}$ 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 $U_{\text{NH}_4}$ や $U_{\text{PO}_4}$ 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 $\text{NH}_4$ 、 $\text{NO}_2$ 、 $\text{NO}_3$ の取り込み速度を比較した結果、 $\text{NH}_4$ の取り込み活性が高まるとともに、 $\text{NO}_2$ 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<sup>1</sup>、角皆 潤<sup>1</sup>、中川 書子<sup>1</sup>、鋤柄 千穂<sup>1</sup>、伊藤 昌稚<sup>1</sup>、小松 大祐<sup>2</sup>

\*Yuko Miyoshi<sup>1</sup>, Urumu Tsunogai<sup>1</sup>, Fumiko Nakagawa<sup>1</sup>, Chiho Sukigara<sup>1</sup>, Masanori Ito<sup>1</sup>, Daisuke Komatsu<sup>2</sup>

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CH<sub>4</sub>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CH<sub>4</sub>の主要発生源となっており水圏から大気へのCH<sub>4</sub>放出量の変化は、大気中のCH<sub>4</sub>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CH<sub>4</sub>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。

CH<sub>4</sub>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、CH<sub>4</sub>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CH<sub>4</sub>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CH<sub>4</sub>の安定同位体比（ $\delta^{13}\text{C}$ と $\delta\text{D}$ ）を指標に用いることでCH<sub>4</sub>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CH<sub>4</sub>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、 $\delta\text{D}$ を用いた研究はほとんどなかった。しかし $\delta^{13}\text{C}$ と $\delta\text{D}$ 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 $\delta\text{D}$ 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CH<sub>4</sub>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CH<sub>4</sub>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CH<sub>4</sub>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CH<sub>4</sub>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 Palma<sup>1</sup>, Shohei Hattori<sup>1</sup>, Yuko Itoh<sup>2</sup>, Moeko Kawasaki<sup>3</sup>, Keiji Takase<sup>4</sup>, Naohiro Yoshida<sup>1</sup>

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  $\text{NO}_3^-$  in a temperate forest with heavy snow for the years 2015 and 2016. The  $\Delta^{17}\text{O}$  values of  $\text{NO}_3^-$  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  $\text{NO}_3^-$  over seasons. Based on  $\Delta^{17}\text{O}$  values of  $\text{NO}_3^-$  in litter layer and mineral soil at 25, 55, and 90 cm depths respectively, calculated fraction of  $\text{NO}_3^-$  from atmosphere ( $f_{\text{atm}}$ ) 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  $\text{NO}_3^-$  in litter layer were observed, indicating that nitrification does not occur in the litter layer due to the existence of snowmelt water. Although different  $f_{\text{atm}}$  for litter layer were observed over the seasons,  $f_{\text{atm}}$  of stream water were constant (approximately 10%) in both winter and summer. In addition, gross nitrification rates (GNR) based on  $f_{\text{atm}}$  for stream water and total  $\text{NO}_3^-$  input for this study site in summer were lower than those in winter, suggesting higher nitrification activity in winter due to higher loads of  $\text{NO}_3^-$  and  $\text{NH}_4^+$  inputs in the latter season. So far, nitrogen and oxygen isotopic values for biologically produced  $\text{NO}_3^-$  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<sup>1</sup>、角 和暁<sup>3</sup>、矢野 翠<sup>3</sup>、眞壁 明子<sup>4</sup>、木庭 啓介<sup>3</sup>、キフティノン ポピット<sup>5</sup>、ガリバイト ハ  
タイラタナ<sup>6</sup>、ヴィサラタナ ティティ<sup>5</sup>、佐瀬 裕之<sup>2</sup>

\*Naoyuki Yamashita<sup>1</sup>, Kazuaki Sumi<sup>3</sup>, Midori Yano<sup>3</sup>, Akiko Makabe<sup>4</sup>, Keisuke Koba<sup>3</sup>, Bopit  
Kietvuttinon<sup>5</sup>, Hathairatana Garivait<sup>6</sup>, Thiti Visaratana<sup>5</sup>, Hiroyuki Sase<sup>2</sup>

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<sup>1</sup>、尾坂 兼一<sup>2</sup>、藤田 健斗<sup>1</sup>、千代 真照<sup>1</sup>、勝山 正則<sup>3</sup>、中村 高志<sup>4</sup>、西田 継<sup>4</sup>

\*Yuki Kajitani<sup>1</sup>, Ken'ichi Osaka<sup>2</sup>, Kento Fujita<sup>1</sup>, Shinsho Chishiro<sup>1</sup>, Masanori Katsuyama<sup>3</sup>, Takashi Nakamura<sup>4</sup>, Kei Nishida<sup>4</sup>

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<sup>1</sup>、木庭 啓介<sup>2</sup>、矢野 翠<sup>2</sup>、小林 真<sup>3</sup>、松本 一穂<sup>4</sup>、飯尾 淳弘<sup>5</sup>、伊藤 昭彦<sup>1</sup>、林 誠二<sup>1</sup>  
\*Kazuya Nishina<sup>1</sup>, Keisuke Koba<sup>2</sup>, Midori Yano<sup>2</sup>, Makoto Kobayashi<sup>3</sup>, Kazuho Matsumoto<sup>4</sup>,  
Atsuhiko Iio<sup>5</sup>, Akihiko Ito<sup>1</sup>, Seiji Hayashi<sup>1</sup>

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 O<sub>3</sub> flux in red pine forest

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

Kaoru Sugiyama<sup>1</sup>, \*Ryuichi Wada<sup>1</sup>, Satoru Takanashi<sup>2</sup>, Takafumi Miyama<sup>2</sup>, Takashi Nakano<sup>3</sup>, Tomoki Mochizuki<sup>4</sup>, Akira Tani<sup>4</sup>, Seiichiro Yonemura<sup>5</sup>, Kentaro Takagi<sup>6</sup>, Yutaka Matsumi<sup>7</sup>, Masahito Ueyama<sup>8</sup>, Yuzo Miyazaki<sup>6</sup>

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、CO<sub>2</sub>濃度とO<sub>3</sub>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。O<sub>3</sub>とCO<sub>2</sub>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、CO<sub>2</sub>フラックスを渦相関法により求め (森林総合研究所CO<sub>2</sub>フラックス観測データ)、傾度法で求めたCO<sub>2</sub>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) CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>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。O<sub>3</sub>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) O<sub>3</sub>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O<sub>3</sub>沈着フラックスの最大となる時期は、O<sub>3</sub>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<sup>1</sup>、石塚 成宏<sup>1</sup>、酒井 佳美<sup>1</sup>、大曾根 陽子<sup>1</sup>、南光 一樹<sup>1</sup>、橋本 徹<sup>1</sup>、田中 永晴<sup>1</sup>、金子 真司<sup>1</sup>、三浦 覚<sup>1</sup>

\*Motoko Inatomi<sup>1</sup>, Shigehiro Ishizuka<sup>1</sup>, Yoshimi Sakai<sup>1</sup>, Yoko Osone<sup>1</sup>, Kazuki Nanko<sup>1</sup>, Toru Hashimoto<sup>1</sup>, Nagaharu Tanaka<sup>1</sup>, Shinji Kaneko<sup>1</sup>, Satoru Miura<sup>1</sup>

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（ $\text{m}^2$ ）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

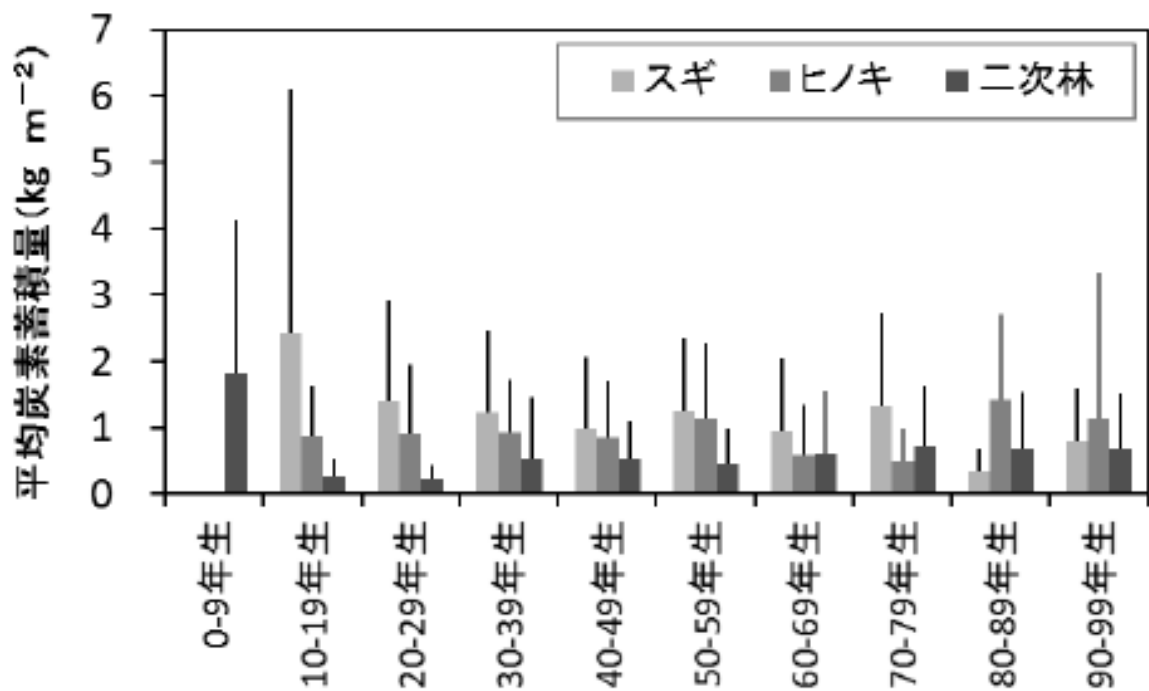


図1 林齢による枯死木の平均炭素蓄積量  
エラーバーは標準偏差を示す。

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

\*遠藤 一樹<sup>1</sup>、浅野 眞希<sup>1</sup>、田村 憲司<sup>1</sup>

\*Kazuki ENDO<sup>1</sup>, Maki Asano<sup>1</sup>, Kenji Tamura<sup>1</sup>

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<sup>1</sup>、浅野 真希<sup>1</sup>、田村 憲司<sup>1</sup>

\*XUPING MA<sup>1</sup>, Maki Asano<sup>1</sup>, Kenji Tamura<sup>1</sup>

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  $4.251 \times 10^7$  hm<sup>2</sup>, 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 cm<sup>3</sup> 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<sup>1</sup>、浅野 真希<sup>1</sup>、田村 憲司<sup>1</sup>

\*Chiryō Kanno<sup>1</sup>, Maki Asano<sup>1</sup>, Kenji Tamura<sup>1</sup>

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,  $\beta$ -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<sup>1</sup>、霜井 真彩<sup>1</sup>、金子 信博<sup>2</sup>、藤江 幸一<sup>2</sup>

\*Yasushi Mori<sup>1</sup>, Maaya Shimoi<sup>1</sup>, Nobuhiro Kaneko<sup>2</sup>, Koichi Fujie<sup>2</sup>

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 Zhu<sup>1</sup>

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 <sup>13</sup>C 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 CO<sub>2</sub>. 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