

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 6 月 23 日現在

機関番号：14301

研究種目：挑戦的研究(萌芽)

研究期間：2017～2020

課題番号：17K19292

研究課題名(和文) マングローブ植物による嫌気性土壌への酸素供給と硝酸態窒素利用の可能性

研究課題名(英文) Does oxygen supplied to anaerobic soil by mangrove aerial roots facilitate soil nitrate production and plant nitrate use?

研究代表者

小山 里奈 (Koyama, Lina)

京都大学・情報学研究科・准教授

研究者番号：50378832

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、生物の必須元素の一つである窒素のマングローブ林における動態について、従来とは異なる視点からの把握を試みた。マングローブ林は潮汐に伴って冠水し、土壌が嫌気状態になることが多い。植物の主要窒素源である土壌中のアンモニア態窒素と硝酸態窒素のうち、硝酸態窒素は酸素が存在しなければ生成されないため、マングローブ林の窒素源としては重視されてこなかった。本研究では、植物が根から土壌に酸素を供給し、微生物がそれを利用して硝酸態窒素を生成する可能性の検証を行った。その結果、マングローブ林土壌で硝酸態窒素が生成されること、またマングローブ植物には硝酸態窒素の利用能力が高い種があることが明らかにされた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、マングローブ林生態系の維持機構について、土壌微生物とマングローブ植物の酸素に関する共生的関係に着目した。学術的意義として、これまでマングローブ植物の窒素源としてはほとんど考慮されてこなかった硝酸態窒素に着目し、マングローブ土壌中の硝酸生成について把握を行った。加えて、マングローブ植物は硝酸態窒素を窒素源として利用する能力を持ち、硝酸態窒素に対する親和性の高いタイプの種が存在することを示した植物生理生態学的意義が挙げられる。社会的意義として、これまで着目されてこなかった植物-微生物間の共生的関係を示したことにより、マングローブ林の成立・維持機構について新しい知見をもたらした。

研究成果の概要(英文)：This study aimed to investigate dynamics of nitrogen, an essential macronutrient, in mangrove ecosystems from a novel viewpoint. Mangrove forests are regularly exposed to tides and the soil frequently becomes hypoxic. Soil inorganic nitrogen, ammonium and nitrate, are the major nitrogen sources for plants, and nitrate production (nitrification) does not occur in hypoxic soil condition. Thus, nitrate has not been considered as a major nitrogen source for mangrove forests. In this study, we tested the hypothesis that plants supply oxygen via the roots to the soil, and nitrifier microbes produce nitrate using the oxygen. The results showed that nitrification occurred in mangrove soil, and that mangrove species have high capacities to use nitrate as a nitrogen source.

研究分野：生態系生態学

キーワード：マングローブ 硝酸態窒素 オヒルギ ヤエヤマヒルギ 硝化 硝酸還元酵素

1. 研究開始当初の背景

マングローブ林は熱帯・亜熱帯の潮間帯に成立する植生で、社会的には近年、エビ養殖池や農地への転換による面積減少や気候変動の影響が注目されている。生物学的・生態学的には、海水あるいは汽水によって冠水する立地に成立することから、植物の耐塩性に関する研究が多く行われてきたほか、独特の形態の気根(呼吸根)を形成することによりマングローブ林に生息する生物の住み場所を形成する機能に関する研究なども行われている。

本研究では、マングローブ林の物質循環、特に窒素循環に着目する。陸上の森林生態系においては、生物の必須多量元素の一つである窒素は、落葉・落枝などの形で有機態の窒素が土壤に供給され、土壤中で土壤動物や微生物の働きによって無機化・硝化されてアンモニア態窒素・硝酸態窒素となり、それらが植物によって吸収・同化されて再び有機態窒素となるという内部循環経路をたどる。それに対し、マングローブ林の土壤はほぼ常時あるいは潮汐に伴って定期的に冠水するため、地下部は嫌気状態になることが多い。その結果、土壤中で酸素が必要な硝化が起こらず、マングローブ植物は窒素源としてアンモニア態窒素を利用すると考えられてきた(図1)。

しかし、Inoue et al. (2011) は、マングローブ植物3種の根圏と根圏外において土壤溶液中の硝酸態窒素濃度を比較し、根圏において硝酸態窒素濃度が高いことを示した。さらに、予備調査の結果、マングローブ植物の1種オヒルギは硝酸態窒素を利用している可能性が示された。植物が硝酸態窒素を利用する能力は種によって大きく異なり(Koyama et al. 2020)、全く硝酸態窒素を利用しない種も存在する。従って予備調査の結果は、これまで土壤中の無機態窒素の形態としてはアンモニア態窒素が優占すると考えられてきたマングローブ林土壤において、実際には硝酸態窒素が生成されており、その硝酸態窒素が植物に利用されていることを示唆すると考えた。マングローブ植物は多くが気根から大気中の酸素を獲得しており、その一部が根から土壤に漏出して硝化に利用された可能性があるが、この酸素の移動と硝酸態窒素の生成の関係について検証を試みた。

2. 研究の目的

本研究では、マングローブ植物とマングローブ林土壤中の硝化微生物の間にこれまで知られていなかった共生的関係が成立しているという仮説を立てた。この関係は、マングローブ植物が気根を通じて微生物に酸素を供給し、微生物が獲得した酸素を利用して生成した硝酸態窒素を植物は窒素源として利用する、という酸素と窒素のやり取りによって成立する(図1)。この仮説を検証するために、マングローブ植物の根圏では硝化が促進されているのか、つまり、土壤中の根量と硝化には対応関係が見られるのか、そして、マングローブ植物は根圏に存在する硝酸態窒素を窒素源として利用しているのかという2点に関する調査を行った。

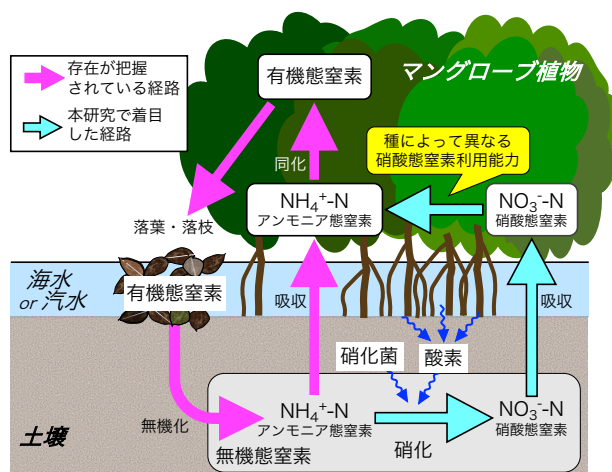


図1. マングローブ生態系における窒素循環。
(小山 2020 科研費研究成果トピックスより)

3. 研究の方法

本研究では、マングローブ林土壤の硝化と根量の関係把握のための野外調査と、マングローブ植物による硝酸態窒素の利用能力を明らかにするための栽培実験を行った。

(1) 野外調査

野外調査は、沖縄県西表島で実施した。オヒルギとヤエヤマヒルギの2種を対象とし、それぞれの種の根が分布すると推定される場所から表層の土壤を採取し、土壤の単位体積当たり根量と総硝化速度を調査した。土壤試料円筒で採取した表層土壤から、用手法で根を全て分類し、総硝化速度は窒素安定同位体トレーサーを用いた同位体希釈法により測定した。

(2) 水耕栽培実験

栽培実験は、野外調査と同じく、オヒルギとヤエヤマヒルギの2種を対象として実施した。それぞれの種の当年生実生を水耕栽培し、異なる濃度の硝酸態窒素を水耕培地に添加して反応を調査した。硝酸態窒素の利用能力の指標として、葉と根の硝酸還元酵素活性を測定した。硝酸還元酵素は、植物体内での硝酸態窒素の同化過程における最初の段階である硝酸態窒素の亜硝酸態窒素への還元を司り、この酵素の働きによる硝酸態窒素の還元が硝酸態窒素同化全体にお

る律速段階になっていることが知られている。また、植物体中で硝酸態窒素が生成されるプロセスが存在しないことを利用して、植物体中の硝酸態窒素濃度を硝酸態窒素吸収の指標とした。

4. 研究成果

(1) 野外調査

野外調査の結果、オヒルギおよびヤエヤマヒルギの根が分布する土壌では、硝化が起きていることが示された。総硝化速度はヤエヤマヒルギ土壌でオヒルギ土壌よりも高かった。同様に同位体希釈法によって測定された土壌中での硝酸態窒素の消費もヤエヤマヒルギ土壌でオヒルギ土壌よりも高かった。先行研究で示された土壌溶液中の硝酸濃度の種間比較では、オヒルギ根圏で採取された土壌溶液のほうが、ヤエヤマヒルギ根圏で採取された土壌溶液よりも高い硝酸態窒素濃度を示したが (Inoue et al. 2011)、この違いは土壌中での硝化速度と消費速度のバランスが生育する種によって異なることを示唆している。

また、土壌採取円筒中に分布していた根量と土壌の総硝化速度との関係は、種にかかわらずあまり明瞭ではなかった。しかし、根量が小さいサンプルでは土壌の総硝化速度の変動が大きく、根量が大きいサンプルでは変動が小さい傾向が見られた。土壌サンプルには、対象種個体の気根が分布する近傍から採取することで根が含まれていることを期待したが、特にヤエヤマヒルギに関して結果的に根量が非常に小さい土壌サンプルが多かったため、容積 100mL の土壌試料円筒中の土壌全体に根の影響が及んでいなかった可能性が考えられる。

(2) 水耕栽培実験

オヒルギとヤエヤマヒルギの両種とも、硝酸還元酵素の活性を示し、硝酸態窒素を窒素源として利用する能力があることが示された (図 2)。また、植物体内に硝酸態窒素が検出され、硝酸態窒素が吸収されていることも示された。

種間で比較すると、硝酸態窒素濃度、硝酸還元酵素活性ともオヒルギがヤエヤマヒルギよりも高かった。過去に調査された他の木本植物と比較すると (Koyama et al. 2020)、ヤエヤマヒルギの硝酸還元酵素活性は多くの種と同程度の値であり、オヒルギは非常に高い活性を示したと言える。また、硝酸還元酵素活性、硝酸態窒素濃度とも、細根と葉を対象に調査されたが、いずれも細根で高い値を示した。

水耕栽培では、0~0.5 mmol L⁻¹ の範囲で異なる濃度の硝酸態窒素をマングローブ当年生実生に供給した。供給濃度に対して、植物体内の硝酸態窒素濃度、硝酸還元酵素ともにほとんど変化を示さず、特にオヒルギで顕著に供給濃度が低い条件でも高い硝酸態窒素濃度と硝酸還元酵素活性が見られた。この結果は、両種が硝酸態窒素に対して高い親和性を持つタイプの種であることを示唆している。

これらの結果は、マングローブ林土壌中に硝酸態窒素が生成されること、マングローブ植物が硝酸態窒素を窒素源として利用できる能力があることを示した。ただし、土壌中の硝化微生物に対する酸素供給、硝化微生物にとっての酸素源に関しては、マングローブ植物の根の役割を明瞭に示すことはできず、より微小な空間スケールでの調査が必要であることが明らかとなった。今後の展開として、より微小な空間スケールでの土壌と根の採取による野外調査や、栽培環境下での根から土壌への酸素供給と硝化との関係を実験的に調査することで、本研究で提示したマングローブ植物と土壌微生物との共生的関係について明らかにすることができると考えられる。

<引用文献>

- Inoue, T., S. Nohara, H. Takagi, and Y. Anzai. (2011) Contrast of nitrogen contents around roots of mangrove plants. *Plant and Soil* 339:471-483.
- Koyama, L. A., M. Terai, and N. Tokuchi. (2020) Nitrate reductase activities in plants from different ecological and taxonomic groups grown in Japan. *Ecological Research* 35:708-712.

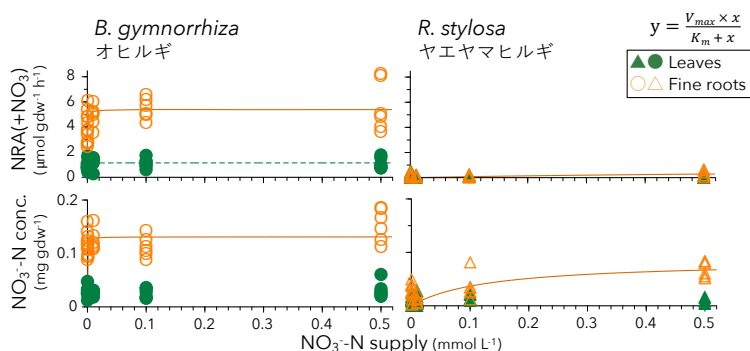


図 2. 水耕栽培実験の結果。水耕溶液に供給された硝酸態窒素濃度と植物の葉と根の硝酸還元酵素活性および硝酸態窒素濃度との関係を示す。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計22件（うち査読付論文 22件 / うち国際共著 5件 / うちオープンアクセス 12件）

1. 著者名 Koyama Lina A., Terai Masakazu, Tokuchi Naoko	4. 巻 35
2. 論文標題 Nitrate reductase activities in plants from different ecological and taxonomic groups grown in Japan	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Ecological Research	6. 最初と最後の頁 708 ~ 712
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/1440-1703.12083	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Inoue Tomomi, Noguchi Ko	4. 巻 229
2. 論文標題 Theoretical analysis of a temperature dependent model of respiratory O ₂ consumption using the kinetics of the cytochrome and alternative pathways	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 New Phytologist	6. 最初と最後の頁 1810 ~ 1821
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/nph.16964	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Taillardat Pierre, Marchand Cyril, Friess Daniel A., Widory David, David Frank, Ohte Nobuhito, Nakamura Takashi, Van Vinh Truong, Thanh-Nho Nguyen, Ziegler Alan D.	4. 巻 160
2. 論文標題 Respective contribution of urban wastewater and mangroves on nutrient dynamics in a tropical estuary during the monsoon season	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Marine Pollution Bulletin	6. 最初と最後の頁 111652 ~ 111652
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.marpolbul.2020.111652	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Nojiri Yosuke, Kaneko Yuka, Azegami Yoichi, Shiratori Yutaka, Ohte Nobuhito, Senoo Keishi, Otsuka Shigeto, Isobe Kazuo	4. 巻 35
2. 論文標題 Dissimilatory Nitrate Reduction to Ammonium and Responsible Microbes in Japanese Rice Paddy Soil	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Microbes and Environments	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1264/jsme2.ME20069	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Fujimura Reiko, Azegami Yoichi, Wei Wei, Kakuta Hiroko, Shiratori Yutaka, Ohte Nobuhito, Senoo Keishi, Otsuka Shigeto, Isobe Kazuo	4. 巻 35
2. 論文標題 Distinct Community Composition of Previously Uncharacterized Denitrifying Bacteria and Fungi across Different Land-Use Types	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Microbes and Environments	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1264/jsme2.ME19064	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 熊野 直子, 田村 誠, 井上 智美, 横木 裕宗	4. 巻 76
2. 論文標題 海面上昇に適応するためのグリーンインフラを活用した多重防護の費用分析	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 地球環境研究論文集	6. 最初と最後の頁 I_221 ~ I_231
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejer.76.5_I_221	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kuroiwa Megumi, Fukushima Keitaro, Hashimoto Kazuma, Senga Yukiko, Sato Tsubasa, Katsuyama Chie, Suwa Yuichi	4. 巻 -
2. 論文標題 Measurement of the Potential Rates of Dissimilatory Nitrate Reduction to Ammonium Based on $^{14}\text{NH}_4^+$ Analyses via Sequential Conversion to N_2	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Visualized Experiments	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3791/59562	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Okubo Takashi, Toyoda Atsushi, Fukuhara Kohei, Uchiyama Ikuo, Harigaya Yuhki, Kuroiwa Megumi, Suzuki Takuma, Murakami Yuka, Suwa Yuichi, Takami Hideto	4. 巻 28
2. 論文標題 The physiological potential of anammox bacteria as revealed by their core genome structure	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 DNA Research	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/dnares/dsaa028	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Yamano Hiroya, Inoue Tomomi, Baba Shigeyuki	4. 巻 2
2. 論文標題 Mangrove development and carbon storage on an isolated coral atoll	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Environmental Research Communications	6. 最初と最後の頁 065002 ~ 065002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/2515-7620/ab9d05	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Inoue Tomomi, Kohzu Ayato, Shimono Ayako	4. 巻 39
2. 論文標題 Tracking the route of atmospheric nitrogen to diazotrophs colonizing buried mangrove roots	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Tree Physiology	6. 最初と最後の頁 1896 ~ 1906
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/treephys/tpz088	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Inoue Tomomi, Shimono Ayako, Akaji Yasuaki, Baba Shigeyuki, Takenaka Akio, Tuck Chan Hung	4. 巻 125
2. 論文標題 Mangrove-diazotroph relationships at the root, tree and forest scales: diazotrophic communities create high soil nitrogenase activities in Rhizophora stylosa rhizospheres	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Annals of Botany	6. 最初と最後の頁 131-144
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/aob/mcz164	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Isobe Kazuo, Ise Yuta, Kato Hiroyu, Oda Tomoki, Vincenot Christian E., Koba Keisuke, Tateno Ryunosuke, Senoo Keishi, Ohte Nobuhito	4. 巻 14
2. 論文標題 Consequences of microbial diversity in forest nitrogen cycling: diverse ammonifiers and specialized ammonia oxidizers	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The ISME Journal	6. 最初と最後の頁 12 ~ 25
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41396-019-0500-2	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Ohte Nobuhito, Katsuyama Masanori	4. 巻 33
2. 論文標題 Comparison of nitrate export patterns in forested catchments in Japan and the Northeastern United States: A meta analysis	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Hydrological Processes	6. 最初と最後の頁 3184 ~ 3194
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/hyp.13612	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Taillardat Pierre, Ziegler Alan D., Friess Daniel A., Widory David, David Frank, Ohte Nobuhito, Nakamura Takashi, Evaristo Jaivime, Thanh-Nho Nguyen, Van Vinh Truong, Marchand Cyril	4. 巻 214
2. 論文標題 Assessing nutrient dynamics in mangrove porewater and adjacent tidal creek using nitrate dual-stable isotopes: A new approach to challenge the Outwelling Hypothesis?	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Marine Chemistry	6. 最初と最後の頁 103662 ~ 103662
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.marchem.2019.103662	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Yamano Hiroya, Inoue Tomomi, Adachi Hiroshi, Tsukaya Keisuke, Adachi Ryota, Baba Shigeyuki	4. 巻 220
2. 論文標題 Holocene sea-level change and evolution of a mixed coral reef and mangrove system at Iriomote Island, southwest Japan	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Estuarine, Coastal and Shelf Science	6. 最初と最後の頁 166 ~ 175
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ecss.2019.03.001	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yasuaki Akaji, Tomomi Inoue, Hajime Tomimatsu, Ayumi Kawanishi	4. 巻 33
2. 論文標題 Photosynthesis, respiration, and growth patterns of Rhizophora stylosa seedlings in relation to growth temperature	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Trees	6. 最初と最後の頁 1041-1049
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00468-019-01840-7	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tsuruta Kenji, Yamamoto Hiroyuki, Katsuyama Masanori, Kosugi Yoshiko, Okumura Motonori, Matsuo Naoko	4. 巻 13
2. 論文標題 Effects of cryogenic vacuum distillation on the stable isotope ratios of soil water	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Hydrological Research Letters	6. 最初と最後の頁 1~6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3178/hrl.13.1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Yukiko Senga, Tsubasa Sato, Megumi Kuroiwa, Seiichi Nohara, Yuichi Suwa	4. 巻 42
2. 論文標題 Anammox and Denitrification in the Intertidal Sediment of the Hypereutrophic Yatsu Tidal Flat, Japan	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Estuaries and Coasts	6. 最初と最後の頁 665-674
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s12237-019-00520-6	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Akaji Yasuaki, Inoue Tomomi, Tomimatsu Hajime, Kawanishi Ayumi	4. 巻 33
2. 論文標題 Photosynthesis, respiration, and growth patterns of Rhizophora stylosa seedlings in relation to growth temperature	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Trees	6. 最初と最後の頁 1041-1049
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00468-019-01840-7	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Oda Tomoki, Green Mark B., Urakawa Rieko, Scanlon Todd M., Sebestyen Stephen D., McGuire Kevin J., Katsuyama Masanori, Fukuzawa Karibu, Adams Mary B., Ohte Nobuhito	4. 巻 54
2. 論文標題 Stream Runoff and Nitrate Recovery Times After Forest Disturbance in the USA and Japan	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Water Resources Research	6. 最初と最後の頁 6042-6054
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2017wr021986	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Koyama Lina A, Kielland Knut	4. 巻 39
2. 論文標題 Black spruce assimilates nitrate in boreal winter	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Tree Physiology	6. 最初と最後の頁 536 ~ 543
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/treephys/tpy109	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Liu Xue-Yan, Koba Keisuke, Koyama Lina A., Hobbie Sarah E., Weiss Marissa S., Inagaki Yoshiyuki, Shaver Gaius R., Giblin Anne E., Hobara Satoru, Nadelhoffer Knute J., Sommerkorn Martin, Rastetter Edward B., Kling George W., Laundre James A., Yano Yuriko, Makabe Akiko, Yano Midori, Liu Cong-Qiang	4. 巻 115
2. 論文標題 Nitrate is an important nitrogen source for Arctic tundra plants	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the National Academy of Sciences	6. 最初と最後の頁 3398-3403
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1073/pnas.1715382115	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計19件 (うち招待講演 4件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 小山里奈, 井上智美, 松尾奈緒子
2. 発表標題 マングローブ植物の窒素源としての硝酸態窒素
3. 学会等名 日本生態学会第68回全国大会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 井上智美, 高津文人, 下野綾子
2. 発表標題 マングローブ植物呼吸根の通気組織を介したガス輸送は低窒素環境への適応なのか
3. 学会等名 日本生態学会第68回全国大会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 赤路康朗, 井上智美, 谷口武士, 馬場繁幸
2. 発表標題 ニッチが異なるヒルギ科二種の菌根共生と細根形態様式
3. 学会等名 日本生態学会第68回全国大会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 森岡たまき, 小山里奈, 井上智美, 黒岩恵
2. 発表標題 マングローブ植物が土壌の窒素養分条件に及ぼす影響
3. 学会等名 日本生態学会第68回全国大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Lina A. KOYAMA, Tomomi INOUE, Naoko MATSUO
2. 発表標題 Capacity of two mangrove species, <i>Bruguiera gymnorhiza</i> and <i>Rhizophora stylosa</i> , to use nitrate as a N source
3. 学会等名 OrgN 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 森岡たまき, 小山里奈, 黒岩 恵, 井上智美, 松尾奈緒子, 大手信人
2. 発表標題 低酸素状態のマングローブ根圏で硝化は起きているか? 植物と土壌微生物の相互作用
3. 学会等名 日本生態学会第67回全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Lina A. KOYAMA, Scott BUCKLEY, Torgny NASHOLM, Sandra JAMTGARD
2. 発表標題 Measuring spatial variability of soil N at small scales -A pilot study using microdialysis in boreal forests
3. 学会等名 日本生態学会第67回全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 井上智美, 赤路康朗, 野口航
2. 発表標題 マングローブ植物の葉と根の呼吸速度温度依存性
3. 学会等名 日本生態学会第67回全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 赤路康朗, 井上智美, 谷口武士, 馬場繁幸
2. 発表標題 ヒルギ科二種の根および根近傍土壤に存在するアーバスキュラー菌根菌群集構造
3. 学会等名 日本生態学会第67回全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 下野 綾子, 井上 智美
2. 発表標題 マングローブ林形成に伴う根圏窒素固定細菌群集の変化
3. 学会等名 日本生態学会第67回全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Megumi KUROIWA, Takuma SUZUKI, Hideto TAKAMI, Takashi OKUBO, Yuichi SUWA
2. 発表標題 Kinetic analysis of the nitrogen metabolisms in the anammox reactor
3. 学会等名 日本生態学会第67回全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Nobuhito Ohte, Masanori Katsuyama
2. 発表標題 Implications of the difference in seasonal variations of nitrate discharge from the temperate forest ecosystems between monsoon and non-monsoon zones
3. 学会等名 AGU Fall Meeting 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 赤路康朗、井上智美
2. 発表標題 日中および夜間の生育温度上昇に対するヤエヤマヒルギ実生の形態的・生理的变化
3. 学会等名 日本生態学会第66回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 井上智美、高津文人、下野綾子
2. 発表標題 マングローブ植物への新たな窒素供給経路の検証 呼吸根通気システムと窒素固定菌
3. 学会等名 日本生態学会第66回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 N. Ohte
2. 発表標題 Nitrogen biogeochemistry in catchment ecosystems in Japan: Uniqueness and its imprecations
3. 学会等名 Special Lecture at Department of Geography and Environmental Development, Ben-Gurion University of the Negev, Be'er Sheva, Israel (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 N. Ohte and M. Katsuyama
2. 発表標題 Geographical comparison leads to a deeper understanding on the nitrate export mechanisms in forest catchments: To generalizations from unique cases
3. 学会等名 日本生態学会第66回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 下野綾子、井上智美
2. 発表標題 マングローブ根圏に形成される窒素固定細菌群集
3. 学会等名 第一回環境DNA学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 赤路康朗、井上智美、富松元、川西あゆみ
2. 発表標題 生育温度がヤエヤマヒルギ実生の生残・成長・光合成に与える影響
3. 学会等名 中国四国地区生物系三学会合同大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Moki H., Sohma A., Shibuki H., Toyoda K., Akhand A., Watanabe K., Tokoro T., Inoue T., Yamano H., Banno M., Nakagawa Y., Matsuda H., Kuwae T.
2. 発表標題 The Estimation of CO2 Flux in Subtropical Coastal Ecosystems Using a Numerical Model
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計3件

1. 著者名 石井弘明、徳地直子、榎木 勉、名波 哲、廣部 宗、石丸香苗、榎木 勉、大園享司、長田典之、河村 耕史、木庭啓介、小山里奈、杉浦真治、舘野隆之輔、菱 拓雄、保原 達、森 章	4. 発行年 2019年
2. 出版社 朝倉書店	5. 総ページ数 184
3. 書名 森林生態学	

1. 著者名 F. Stuart Chapin III, Pamela A. Matson, Peter M. Vitousek (原著)、加藤 知道 (監訳)、榎木 勉、戸田 求、藤井 一至、中井 太郎、鎌倉 真依、植山 雅仁、友常 満利、吉竹 晋平、小山里奈、木庭 啓介、廣田 充、小林 真、小山 明日香、吉原 佑、酒井 佑植、佐々木 雄大 (訳)	4. 発行年 2018年
2. 出版社 森北出版	5. 総ページ数 608
3. 書名 生態系生態学(第2版)	

1. 著者名 Tomomi Inoue (Kuwae T. and Hori M. eds)	4. 発行年 2018年
2. 出版社 Springer	5. 総ページ数 373
3. 書名 Carbon Sequestration in Mangroves (In: Blue carbon in Shallow Coastal Ecosystems: Carbon Dynamics, Policy, and Implementation)	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	井上 智美 (Inoue Tomomi) (80435578)	国立研究開発法人国立環境研究所・生物・生態系環境研究センター・主任研究員 (82101)	
研究分担者	松尾 奈緒子 (Matsuo Naoko) (00423012)	三重大学・生物資源学研究科・講師 (14101)	
研究分担者	大手 信人 (Ohte Nobuhito) (10233199)	京都大学・情報学研究科・教授 (14301)	
研究分担者	黒岩 恵 (Kuroiwa Megumi) (00761024)	中央大学・理工学部・助教 (32641)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関