

令和 6 年 5 月 17 日現在

機関番号：82101

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H02239

研究課題名（和文）マングローブ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？

研究課題名（英文）Diazotrophic nitrogen fixation through aerial roots occurs in mangroves: implications for adaptation of mangrove plant growth to low-nitrogen tidal flats

研究代表者

井上 智美 (Inoue, Tomomi)

国立研究開発法人国立環境研究所・生物多様性領域・主幹研究員

研究者番号：80435578

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,500,000円

研究成果の概要（和文）：マングローブ植物は、およそ5500万年前に干潟に進出して適応した。窒素不足に陥りやすい干潟で常緑多年生木本植物として生活しているマングローブ植物の窒素獲得機構には、不明なことが多い。本課題により、マングローブ植物の根近傍には、特有な窒素固定菌叢が発達していることが示された。また、満潮時に地下部が冠水しても、地上根から空気が取り込まれ、根内の空隙（通気組織）を通じて土壤中の窒素固定菌へ窒素が供給されていることが明らかとなった。これらの現象が、独立に干潟に進出したとされるヒルギ科とクマツツラ科に共通して見られることから、地上根の形態は、低窒素な干潟環境への適応的な形質である可能性がある。

研究成果の学術的意義や社会的意義

マングローブ植物に特徴的に見られる地上根の形態は、多くの植物学者の興味の対象である。本研究の成果は、窒素不足になりやすい干潟に生育するマングローブ植物の窒素獲得機構を明らかにするだけでなく、マングローブ植物の地上根の構造がもつ進化適応の背景を理解することにも貢献する。さらに、温暖化による海水面変動や気温の季節性の変化といった、将来起こり得る環境変化によって大きな影響を受ける可能性が高い、マングローブ植物と土壤環境との関係について、植物の生理生態学的反応の理解を深めることに貢献する。

研究成果の概要（英文）：Mangrove trees maintain high levels of nitrogen fixation around their roots. The interior aerial space of mangrove roots, in which atmospheric gas is supplied through lenticels, could be efficient sites for nitrogen fixation. We measured tidal variations of partial pressure of N₂ in root aerenchyma and conducted experiments using ¹⁵N₂ as a tracer to track N₂ movement through aerial roots of *Avicennia marina*. The nitrogenase activity and estimated nitrogen fixation through aerenchyma was higher in pneumatophores and absorbing roots than in cable roots. Positive correlations between root nitrogen contents and turnover rates of root nitrogen derived from N₂ through aerenchyma suggested that the internal supply of N₂ to diazotrophs could be the main source for nitrogen assimilation by roots. The aerial root structures could be an adaptation to survival in not only low-oxygen environments but also tidal flats with little plant-available nitrogen.

研究分野：植物生理生態学

キーワード：マングローブ 通気組織 窒素固定 植物バクテリア相利共生

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

マングローブ植物は、およそ 5500 万年前に干潟に進出して適応したとされる。干潟は、リターが潮汐によって海域へ流出するため、土壌窒素濃度が低くなりやすい。このような場所で常緑多年性木本植物として生活しているマングローブ植物は、どのように窒素を獲得しているのだろうか？以前の課題「マングローブ植物への新たな窒素供給経路の検証（基盤（B）16H04941）」では、ヒルギ科ヤエヤマヒルギの根近傍で高い窒素固定活性が維持されていることや、地上部に露出した支柱根の通気組織を通じたガス拡散によって、大気中の窒素ガスが土中の根近傍に存在する窒素固定細菌に供給されており、根近傍で高い窒素固定活性が維持されていることが明らかとなった（Inoue et al., 2019; Inoue et al., 2020）。これらのことは、窒素固定菌によって固定された窒素がヤエヤマヒルギへの窒素供給源となっており、満潮時に土壌が冠水しても、支柱根の通気組織が安定的な窒素供給経路として機能している可能性を示唆している。しかし、まず大前提として、冠水したマングローブ土壌が本当に窒素律速の状態にあるのかを確認する必要がある。次に、この現象が、他のマングローブ植物にも見られるものなのか、明らかではない。また、地上根通気組織由来の窒素ガス供給が、マングローブ植物の窒素同化に寄与しているのかも不明である。

2. 研究の目的

本課題では、(i) 冠水時のマングローブ林土壌が窒素律速になっているか？(ii) 根圏の窒素欠乏に反応して、通気組織形成が誘導されているか？(iii) ヒルギ科に属するヤエヤマヒルギとは独立に干潟に進出したとされている、クマツヅラ科ヒルギダマシにも、地上根の通気組織を介した窒素供給と窒素固定が起きているか？を明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 調査地

野外調査は、沖縄県西表島船浦湾のマングローブ林（24°21'N, 123°45'E）にて行った。林の主要構成樹種は、オヒルギ（ヒルギ科）、ヤエヤマヒルギ（ヒルギ科）、ヒルギダマシ（クマツヅラ科）である。

(2) 根通気組織と土壌間隙水の窒素分圧 pN_2

根通気組織内のガスと土壌間隙水の採取は、干潮時と満潮時の2条件で行った。根通気組織内のガスについては、ヒルギダマシの地上根（筍根）の基部（土中に埋まっている部位）の通気組織内にガスタイトシリンジの針を挿入し、内部のガス 3-5mL を採取した。採取したガスを、ヘリウム（He）パージした水を満たした 20mL のバイアル瓶に封入し、滅菌のために 1mL の 8molL^{-1} の KOH 水を添加した。土壌間隙水の採取は、ヒルギダマシの根系が存在する植生区と、根の無い無植生区で行った。アシストチューブ（直径 0.2 cm）を先端に取り付けた注射器で 20 cm 深度の土壌間隙水を採取し、20mL のバイアル瓶に気相が入り込まないように封入し、滅菌のために 1mL の 8molL^{-1} の KOH 水を添加した。また、満潮時のヒルギダマシ群落内の表層水も採取した。水サンプルは、実験室に持ち帰った後、He ガスを用いて 2mL のヘッドスペースを作り、室温で 1 週間静置して気液平衡状態とした。各サンプルの気相ガス中の N_2 濃度を同位体分析-元素分析計にて計測した。

(3) 根圏窒素濃度と根空隙率

野外調査と栽培実験で検証を行った。野外調査では、土壌水の無機態窒素（ NH_4^+ および NO_3^- ）の濃度が異なる環境に生育するヤエヤマヒルギの成木 15 個体の側根を採取し、同時に側根の周囲の土壌間隙水 30mL を採取した。側根の空隙率 POR を比重瓶法（Jensen et al., 1969）にて計測すると共に、根圏土壌水中の無機態窒素濃度を比色法で計測した。

栽培実験では、調査地で採取したヤエヤマヒルギの散布体を、砂を入れたポットに植栽し、(a) 嫌気+窒素施肥 (b) 好気+窒素施肥 (c) 好気+窒素欠乏条件下で 4 カ月間栽培した。各個体の側根の基部と先端の空隙率 POR を比重瓶法で計測した。

(4) $^{15}N_2$ ガス施与実験

野外に生育しているヒルギダマシの成木 3 個体（平均樹高 113 cm）について、各個体 3 本のランナー根を選定し、地上根の筍根部分にプラスチック製のチャンバーを取り付けた。チャンバーは、真空用のシリコングリースとパラフィルムで密閉し、チャンバー内のガスを $^{15}N_2$ (99.4 atom% $^{15}N_2$) 入りのガス（78% $^{15}N_2$, 21% O_2 , 1% Ar）で置換した。ガス置換 24 時間後に、地下部を含むランナー根全体を掘り出して採取した。採取したランナー根を、まず、筍根・根茎・吸収根の 3 部位（大区分：根部位）に分け、さらに表皮・外皮（通気組織を含む層）・中心柱（小区分：組織）に切り分けた。各部位のサンプルを乾燥後、粉碎し、 $\delta^{15}N$ 比を同位体分析-元素分析計にて計測した。

4. 研究成果

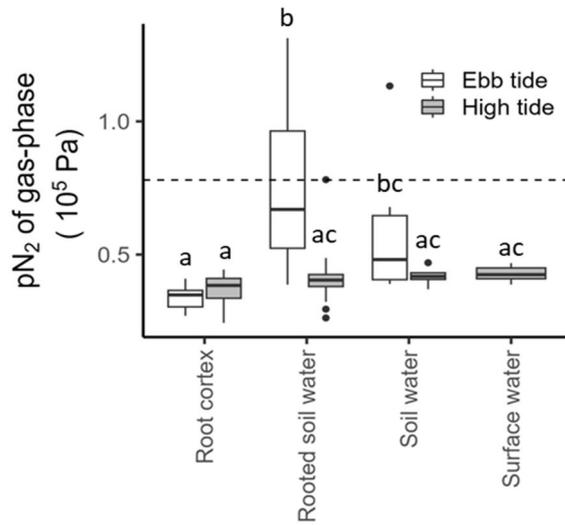
(1) 根通気組織と土壌間隙水の窒素分圧

ヒルギダマシ植生区および無植生区の土壌水と満潮時の表層水の窒素分圧は、大気の窒素分圧よりも低かった(図1)。このことから、満潮になると、マングローブ土壌中の窒素固定菌への窒素ガス供給が制限されていることが明らかとなった。土壌中の窒素分圧が低下する要因は、窒素固定菌による窒素消費に加え、微生物代謝によるCO₂やCH₄生産などが考えられる。根通気組織内の窒素分圧も大気より低くなっていたため、大気から根内への窒素拡散の流れが生じ得ることが確認された。一方で、干潮時には、土壌水中の窒素分圧が大気より高くなるケースが観察された。干潮と共に上流内陸部から流れ込む水が、内陸部で起きる脱窒のために高濃度のN₂を含んでいたと考えられる。この様な、引き潮時に起きる窒素負荷プロセスが、マングローブ土壌の窒素不足を緩和している可能性が示された。また、干潮時の根通気組織内の窒素分圧が大気より低かったことから、大気から通気組織内への窒素拡散が、根内の窒素固定による窒素消費を補うには不十分であったと考えられる。

図1 ヒルギダマシの根通気組織内 (Root cortex)、植生区土壌水 (Rooted soil water)、無植生区土壌水 (Soil water)、表層水 (Surface water) の窒素分圧 pN₂

図中の小文字ローマ字は統計的な有意差 (p<0.05) を示す

Ebb tide : 干潮時
High tide : 満潮時



(2) 根圏窒素濃度と根空隙率

野外のマングローブ土壌水の無機態窒素の大部分はアンモニウム態窒素で、硝酸態窒素は10%以下であることが多いが、今回の野外調査でも同様であった。このことから、マングローブ植物への土壌水経由での主要な窒素供給源は、アンモニア態窒素であることが推察される。野外調査では、根圏土壌水のアンモニウム態窒素の低下に伴って、ヤエヤマヒルギ成木の側根の空隙率が増加していた(図2a)。根圏土壌の窒素低下に伴って、地上部通気組織経由の窒素供給を補償するために、通気組織の誘導形成が起きている可能性が窺える。また、根圏土壌水の硝酸態窒素の増加に伴って、側根の空隙率が低下していた(図2b)。アンモニア態窒素と硝酸態窒素に相関関係が見られなかったことから(図2c)、硝酸態窒素の量は、有機態窒素の無機化プロセスに律速されておらず、好気環境下で進む硝化プロセスで規定されていたと考えられる。以上のことから、通気組織の形成は、根圏土壌の嫌気性にも応答していることが示された。

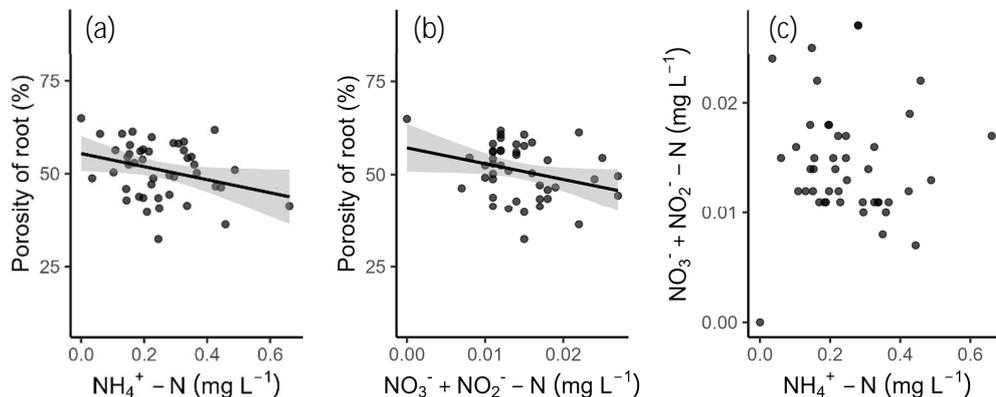


図2 野外に生育するヤエヤマヒルギ成木の根圏土壌水無機窒素濃度と側根の空隙率との関係

図中の黒点は実測データ、実線はGLMMモデル選択で選択されたモデル、灰色部分は95%信頼区間を示す

栽培実験では、ヤエヤマヒルギの実生の地下部が低窒素になると、側根の先端の空隙率が増加することが示された（図 3）。これにより、土壌水由来の窒素供給が低下すると通気組織由来のガス拡散と根内の窒素固定菌への窒素供給が促進されることが考えられる。また、地下部が嫌気環境になると、側根の基部と先端の双方の空隙率が増加することも明らかとなった（図 3）。嫌気土壌による根内の酸素不足が、地上部からの酸素拡散で緩和されると考えられる。

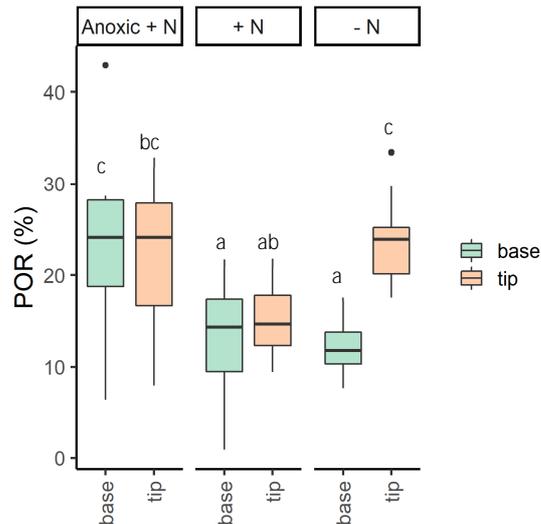
以上のように、野外環境と栽培環境の双方で、根の通気組織形成が、酸素不足だけではなく、窒素不足でも起きていることが明らかとなった。このことは、マングローブ植物の地上根通気組織が嫌気環境だけではなく、低窒素環境への適応的な形質である可能性を示している。

図 3 栽培実験によるヤエヤマヒルギ実生の側根の根の空隙率 POR

図中の小文字ローマ字は統計的な有意差 ($p < 0.05$) を示す

Anoxic : 0.1%寒天水に冠水
 表記なし : 空気抜気水に冠水
 +N : 150 μ M NH_4Cl 施肥
 -N : 窒素無施肥

base : 根基部 tip : 根先端



(3) 地上根通気組織を介した N_2 拡散と窒素固定

$^{15}\text{N}_2$ ガス施与 24 時間後の処理根の $\delta^{15}\text{N}$ 値 ($1.4 \pm 1.0\text{‰}$) は、無処理の根 (コントロール) の $\delta^{15}\text{N}$ 値 ($0.3 \pm 1.4\text{‰}$) よりも有意に高く ($P < 0.05$) 根系全体に ^{15}N ラベルがされたことが示された (図 4)。処理根のランナー方向の $\delta^{15}\text{N}$ プロファイルに一般化加法モデル (GAM) を適用したところ、水平方向の位置座標 x を含むモデルが AIC により選択された。このことから、ケーブル根 (x 軸) に沿った ^{15}N ラベルのパターンがある事が示唆された。しかし、ケーブル根の先端方向や樹木本体の幹方向と $\Delta\delta^{15}\text{N}$ の間に相関関係が見られなかったことから、 ^{15}N ラベルのパターンは、上流 (幹側) / 下流 (ランナー先端側) の効果によるものではなかったと考えられる。各ラン

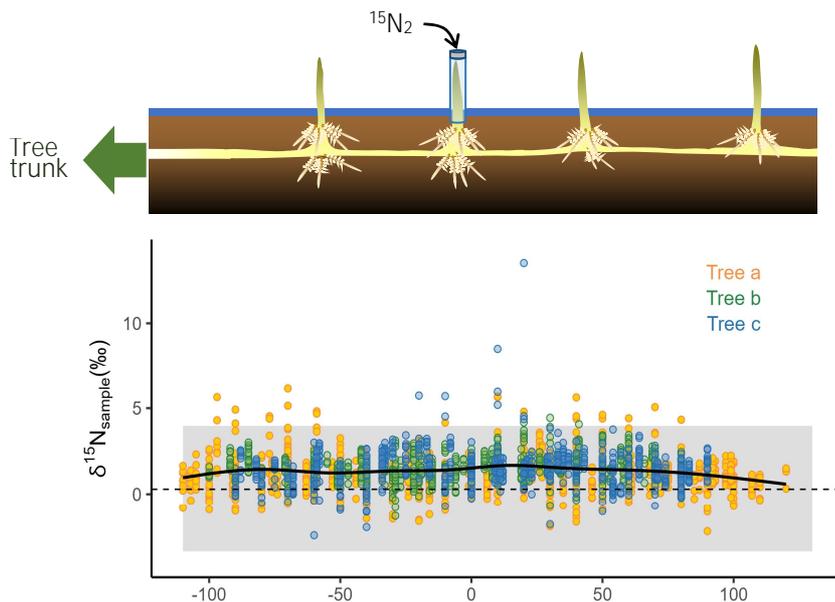


図 4 野外に生育するヒルギダマシのケーブル根沿いの $\delta^{15}\text{N}$ プロファイル

図中の点は実測データ、実線は GAM モデル選択で選択されたモデル、破線は無処理サンプルの $\delta^{15}\text{N}$ 平均値、灰色部分は 99% 予測区間を示す

ナーの ^{15}N ラベルパターンを見ると、高 $\delta^{15}\text{N}$ 値が局所的に集まっており、窒素固定菌が集まっている場所がケーブル根沿いに不規則に存在していたことが推察される。

地上根通気組織由来の窒素固定プロセスがマングローブ植物の窒素同化に寄与しているかどうかを検証するため、通気組織由来の窒素供給による根の窒素ターンオーバーと根の窒素含有量との関係を一般化線形混合モデル解析 (GLMM) で調べたところ、全ての根の部位と組織タイプで、正の相関を示すモデルが最適モデルとして選択された (図 5)。このことから、根の窒素含有量が、通気組織由来の窒素供給で説明できることが示された。選択されたモデルの指数は、全ての根部位・組織タイプで 1.0 未満であり、根の窒素ターンオーバーが大きいほど傾きが緩くなる傾向がある。このことは、窒素含有量が小さい部位や組織ほど、通気組織由来の窒素同化が占める割合が高いことを示している。根の部位別にみると、筒根 > ケーブル根 > 吸収根の順に通気組織由来の窒素同化が占める割合が高く、根の組織別にみると、中心柱 > 通気組織 > 外皮の順に通気組織由来の窒素同化が占める割合が高かった。

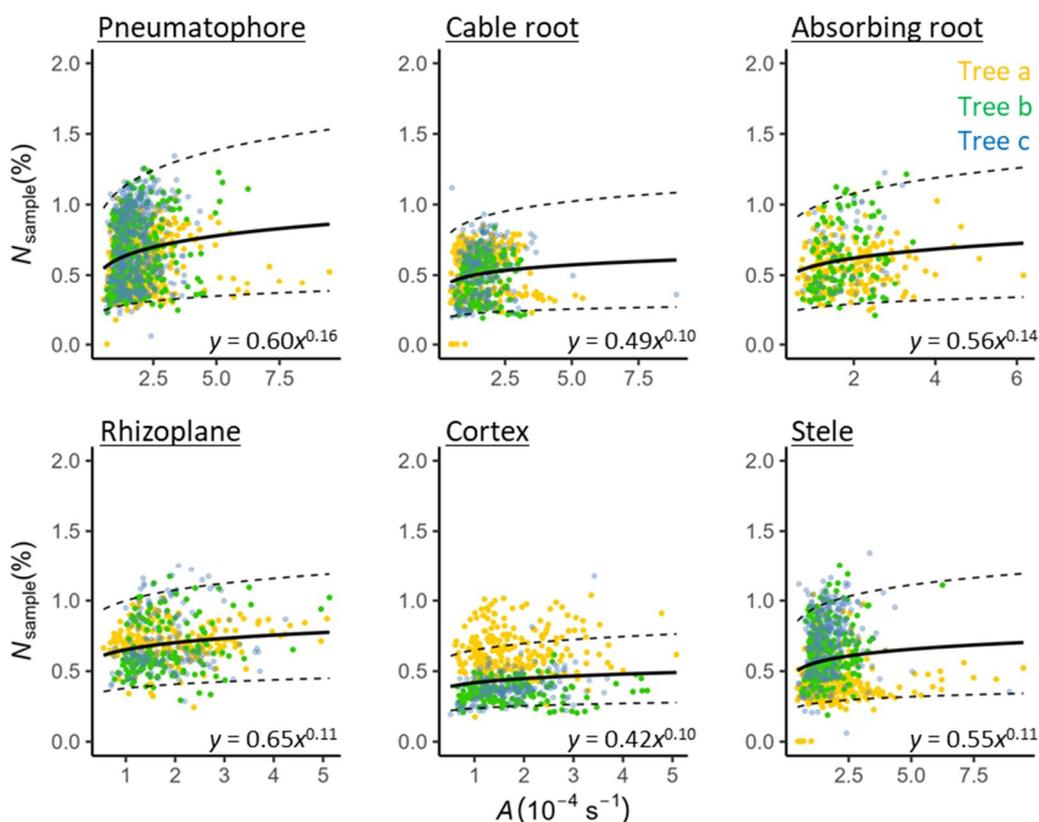


図 5 ヒルギダマシの通気組織由来の窒素供給による根の窒素ターンオーバー A と根の窒素含有量 N_{sample} との関係

図中の点は実測データ、実線は GLMM モデル選択で選択されたモデル、破線は 95% 予測区間、数式は選択されたモデル式を示す

Pneumatophore : 筒根 Cable root : ケーブル根 Absorbing root : 吸収根
Rhizoplane : 表皮 Cortex : 外皮 Stele : 中心柱

< 引用文献 >

Inoue T, Khozu A, Shimono A (2019) Tracking the route of atmospheric nitrogen to diazotrophs colonizing buried mangrove roots. *Tree Physiology*, 39(11), 1896–1906.

Inoue T, Shimono A, Akajji Y, Baba S, Takenaka A, Chan HT (2020) Mangrove-diazotroph relationships at the root, tree and forest scales: diazotrophic communities creates high soil nitrogenase activities in *Rhizophora stylosa* rhizospheres. *Annals of Botany*, 125(1), 131–144.

Jensen CR, Luxmoore RJ, Van Gundy SD, Stolzy LH (1969) Root air-space measurements by a pycnometer method. *Agronomy Journal* 61: 474–475

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 12件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Inoue Tomomi, Akaji Yasuaki, Baba Shigeyuki, Noguchi Ko	4. 巻 237
2. 論文標題 Temperature dependence of O_2 respiration in mangrove leaves and roots: implications for seedling dispersal phenology	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 New Phytologist	6. 最初と最後の頁 100 ~ 112
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/nph.18513	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, Akaji Yasuaki, Kohzu Ayato, Hinokidani Ko, Adachi Hiroshi, Kezuka Mio, Baba Shigeyuki	4. 巻 479
2. 論文標題 Relationship between plant growth and soil chemical properties in a mangrove afforestation stand, Kiribati	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Plant and Soil	6. 最初と最後の頁 559 ~ 571
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11104-022-05545-8	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 Ando Haruko, Ikeno Susumu, Narita Ayu, Komura Taketo, Takada Atsushi, Isagi Yuji, Oguma Hiroyuki, Inoue Tomomi, Takenaka Akio	4. 巻 0
2. 論文標題 Temporal and interspecific dietary variation in wintering ducks in agricultural landscapes	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Molecular Ecology	6. 最初と最後の頁 1-13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/mec.16584	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, Akaji Yasuaki, Noguchi Ko	4. 巻 129
2. 論文標題 Distinct responses of growth and respiration to growth temperatures in two mangrove species	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Annals of Botany	6. 最初と最後の頁 15 ~ 28
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/aob/mcab117	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, Yamada Yusuke, Noguchi Ko	4. 巻 45
2. 論文標題 Growth temperature affects O ₂ consumption rates and plasticity of respiratory flux to support shoot growth at various growth temperatures	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Plant, Cell & Environment	6. 最初と最後の頁 133 ~ 146
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/pce.14217	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 Akaji Yasuaki, Inoue Tomomi, Taniguchi Takeshi, Baba Shigeyuki	4. 巻 472
2. 論文標題 Arbuscular mycorrhizal fungal communities of a mangrove forest along a salinity gradient on Iriomote Island	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Plant and Soil	6. 最初と最後の頁 145 ~ 159
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11104-021-05193-4	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 Mori Nobuhito, Chang Che-Wei, Inoue Tomomi, Akaji Yasuaki, Hinokidani Ko, Baba Shigeyuki, Takagi Masashi, Mori Sotaro, Koike Hironoshin, Miyauchi Miho, Suganuma Ryosuke, Sabunas Audrius, Miyashita Takuya, Shimura Tomoya	4. 巻 7
2. 論文標題 Parameterization of Mangrove Root Structure of Rhizophora stylosa in Coastal Hydrodynamic Model	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Frontiers in Built Environment	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) 10.3389/fbuil.2021.782219	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 Fujimoto K, Ono K, Watanabe S, Taniguchi S, Inoue T, Kanayama K, Ogawa T.	4. 巻 12
2. 論文標題 Estimation of probable annual fine-root production and missing dead roots associated with the ingrowth core method: attempt with major mangrove species on Iriomote Island, southwestern Japan, locates in the subtropics	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Mangrove Science	6. 最初と最後の頁 11-24
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Kumano Naoko, Tamura Makoto, Inoue Tomomi, Yokoki Hiromune	4. 巻 63
2. 論文標題 Estimating the cost of coastal adaptation using mangrove forests against sea level rise	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Coastal Engineering Journal	6. 最初と最後の頁 263 ~ 274
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/21664250.2021.1892968	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	4. 巻 224
2. 論文標題 Effect of soil temperature on the morphological and physiological traits of <i>Kandelia obovata</i> seedlings	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Plant Ecology	6. 最初と最後の頁 579 ~ 589
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11258-023-01325-1	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, Kohzu Ayato, Taniguchi Takeshi, Baba Shigeyuki	4. 巻 192
2. 論文標題 <i>Bruguiera gymnorhiza</i> forms mycorrhizal associations but <i>Rhizophora stylosa</i> does not: A pot experiment using mangrove soil and Rhizophoraceae seedlings	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Aquatic Botany	6. 最初と最後の頁 103748 ~ 103748
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.aquabot.2023.103748	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, Kohzu Ayato, Akaji Yasuaki, Miura Shingo, Baba Shigeyuki	4. 巻 241
2. 論文標題 Diazotrophic nitrogen fixation through aerial roots occurs in <i>Avicennia marina</i> : implications for adaptation of mangrove plant growth to low nitrogen tidal flats	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 New Phytologist	6. 最初と最後の頁 1464 ~ 1475
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/nph.19442	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 -

〔学会発表〕 計15件（うち招待講演 3件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 井上智美、高津文人、赤路康朗、下野綾子
2. 発表標題 マングローブ植物の地上根通気組織と窒素固定
3. 学会等名 日本生態学会大会第70回大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 藤田知弘、深野祐也、小出大、井上智美
2. 発表標題 都市環境における植物形質の進化
3. 学会等名 日本生態学会大会第70回大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Inoue T
2. 発表標題 Carbon sequestration of mangroves at a global scale.
3. 学会等名 International Conference on Blue Carbon Ecosystems for Sustainable Development with Special Emphasis to Mangrove Ecosystems (招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 井上智美
2. 発表標題 基礎研究と生物多様性保全：マングローブ生態系研究の魅力
3. 学会等名 日本生態学会(招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 宮城豊彦、井上智美、柳沢英明、渡辺信、馬場繁幸
2. 発表標題 センシング分野の技術革新がもたらす新しいマングローブ研究
3. 学会等名 第27回日本マングローブ学会（招待講演）
4. 発表年 2022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 日本生態学会大会第68回大会
4. 発表年 2021年

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
3. 学会等名 日本生態学会大会第68回大会
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 日本生態学会大会第68回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Morioka T, Koyama L, Inoue T, Kuroiwa M, Yokobe T, Tateno R.
2. 発表標題 Facilitation of soil nitrate production by mangrove roots in hypoxic soil condition.
3. 学会等名 AGU fall meeting (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Fujita T, Koide D, Fukano Y, Inoue T.
2. 発表標題 The flower doesn't flower in the city: Evolution of the plant reproductive traits in an urban population
3. 学会等名 ESA 108th Annual meeting (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Fujita T, Koide D, Inoue T, FukanoY.
2. 発表標題 Evolutionary consequences of urbanization on plant reproductive traits
3. 学会等名 BES Annual meeting 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 赤路康朗、鳥丸猛、青日菜子、山尾幸夫、井上智美、谷口武士
2. 発表標題 大気二酸化炭素濃度と菌根共生がブナ実生の光合成能力に及ぼす影響
3. 学会等名 第135回日本森林学会大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 河合清定、赤路康朗、井上智美、小林正樹
2. 発表標題 生育温度と土壤養分条件がヤエヤマヒルギの成長とガス交換特性に与える影響
3. 学会等名 日本生態学会第71回全国大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 藤田知弘、深野祐也、小出大、井上智美
2. 発表標題 都市化に伴う植物の急速な進化に関する研究
3. 学会等名 日本生態学会第71回全国大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 井上智美、藤村朋子、野口航
2. 発表標題 マングローブ植物の呼吸と成長の塩分に対する応答は生育温度によって異なる
3. 学会等名 日本生態学会第71回全国大会
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Inoue T, Kohzu A, Akaji Y, Miura S, Baba S.	4. 発行年 2022年
2. 出版社 Springer	5. 総ページ数 609
3. 書名 Mangroves of Japan. In T. Pullaiah (ed) A book on Mangroves: Biodiversity, livelihoods and conservation	

〔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	下野 綾子 (Shimono Ayako) (30401194)	東邦大学・理学部・准教授 (32661)	
研究分担者	高津 文人 (Kohzu Ayato) (30514327)	国立研究開発法人国立環境研究所・地域環境保全領域・室長 (82101)	

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