

令和 3 年 4 月 28 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K19165

研究課題名（和文）陸域環境の窒素固定を担う微生物基盤の刷新

研究課題名（英文）Characterization of ubiquitous but previously-overlooked nitrogen-fixing bacteria in soil ecosystems

研究代表者

妹尾 啓史 (Keishi, Senoo)

東京大学・大学院農学生命科学研究科（農学部）・教授

研究者番号：40206652

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）：世界（農耕地、底泥、森林、砂漠、極地土壌）および日本（水田、畑、森林、底泥）の土壌メタゲノム解析の結果、多くの地点でGeobacterとAnaeromyxobacterの窒素固定遺伝子が検出され、鉄還元細菌による窒素固定が陸域環境において普遍的である可能性が示された。土壌からGeobacterならびにAnaeromyxobacterを多数分離し、窒素固定活性を確認した。主に水田から分離したGeobacterの解析から、新属GeomonasおよびOryzomonasを提唱した。様々な陸域環境土壌において嫌氣的条件下で鉄還元細菌による窒素固定が起こることが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

窒素固定は大気中の窒素ガスを生物が利用できる形態の窒素に変換して土壌に供給する、自然生態系を支える重要な反応である。19世紀末に窒素固定が発見されて以降、「土壌の窒素固定は植物共生細菌や光合成細菌が担う」というのが一般常識として定着していた。本研究により、窒素固定できる鉄還元細菌が地球規模で普遍的に分布していること、そして従来の窒素固定微生物よりも存在量が多い傾向も見出された。このことは窒素固定に関する定説を刷新して自然生態系の支持基盤の本質に迫るものであり、その波及効果は土壌学分野に留まることなく、微生物学、地球科学、生態学まで広く自然科学分野全般に及ぶ。

研究成果の概要（英文）：Nitrogen fixation genes in Geobacter and Anaeromyxobacter were frequently detected in our metagenomic analysis of soils in Japan (paddy, upland, forest, sediment) and in the world (agricultural soils, sediment, forest, desert, polar), suggesting ubiquitous distribution of nitrogen-fixing iron-reducing bacteria in terrestrial environments. We isolated Geobacter and Anaeromyxobacter strains from soils and confirmed their nitrogen-fixing activity. Based on Geobacter isolates from paddy soils, we proposed new genera, Geomonas and Oryzomonas. Nitrogen fixation of iron reducing bacteria might be active under anaerobic condition in various soil environments.

研究分野：土壌学

キーワード：窒素固定微生物 鉄還元細菌 陸域土壌 Anaeromyxobacter Geobacter

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

窒素固定は植物共生細菌や光合成細菌によって駆動されることは公知であるが、最近、申請者はこの窒素固定微生物の固定概念を覆す発見に至った。土壌 DNA や RNA を網羅的に解読するメタゲノム・メタトランスクリプトーム法(メタ解析)を導入して水田土壌中の遺伝子やその転写産物を解析したところ、既知の窒素固定微生物ではなく、従来法では検出されなかった鉄還元細菌の窒素固定遺伝子 (*nif*) の転写産物が高頻度に検出された。このことは鉄還元細菌もまた水田土壌における窒素固定の鍵微生物であることを強く示唆する。さらにメタ解析を導入すると鉄還元細菌 (*Anaeromyxobacter* 属と *Geobacter* 属) の *nif* が他の環境でも検出できること、そして両属細菌は土壌圏に広く分布するユビキタスな土壌細菌群であることを突き止め、鉄還元細菌が広く陸域環境において窒素固定を行っているという可能性を見出した (Masuda et al., *Microbes Environ.* 32, 180, 2017)。

2. 研究の目的

日本および世界各地の土壌メタゲノムデータの包括的解析、土壌由来の鉄還元細菌の分離培養、菌株ゲノム解析、土壌環境解析を行うことにより「鉄還元細菌による窒素固定」という新概念を生態レベルから活性レベルまで多面的に検証し、土壌環境の窒素固定を担う微生物基盤の真相を解明する。これにより 100 年間既成事実として信じられている窒素固定微生物の定説を刷新し、土壌に窒素源を供給する微生物システムの真相に迫る。

3. 研究の方法

・土壌環境における窒素固定遺伝子のグローバル調査

「鉄還元細菌による窒素固定」という新概念の普遍性を担保するため、多地点の土壌試料をメタ解析することにより *nif* およびその転写産物の微生物由来を調べ、鉄還元細菌の *nif* の分布と局在を明らかにすると同時に、土壌の窒素固定ポテンシャルを測定した。また、公共データベースに登録されている世界各地の陸域土壌(農耕地、熱帯雨林、極地など)のメタゲノムデータも収集・解析し、どのような微生物の *nif* が含まれるのかを調べた。これらの陸域環境メタゲノムビッグデータに基づく解析により、「鉄還元細菌による窒素固定」がグローバルな普遍性を有するのかを検証した。

・鉄還元細菌の窒素固定能の検証

本項目では、土壌から鉄還元細菌 *Anaeromyxobacter* 属と *Geobacter* 属細菌を単離培養してその窒素固定活性を解析するとともに、鉄還元細菌が土壌中で窒素固定能を発揮することを検証した。

- 1. 鉄還元細菌の単離, 窒素固定活性測定, 窒素固定遺伝子の同定

滅菌土壌を培地として用いるユニークな集積培養によりを用いて *Anaeromyxobacter* 属と *Geobacter* 属細菌のスクリーニングを行い、両属の鉄還元細菌の培養株を収集する。単離株は生理性状試験および 16S rRNA 遺伝子配列解析により分類同定し、定法のアセチレン還元活性測定法により窒素固定活性を調べる。窒素固定活性が確認された菌株について、ドラフトゲノム解読を行って *nif* の配列とそのクラスタ構造を解析し、窒素固定能の遺伝的基盤も明らかにする。

- 2. 土壌における鉄還元細菌の窒素固定能の検証

水田、畑、森林土壌を用いた室内系土壌マイクロゾムを作成して保温静置し、窒素固定活性が高まる最適条件の選定および窒素固定活性のプロファイリングを行った。次に、還元環境由来土壌試料の窒素固定活性と鉄還元細菌の関係を調べた。さらに、好気的な環境を含む様々な土壌の窒素固定活性と鉄還元細菌の関係を調べた。

4. 研究成果

・土壌環境における窒素固定遺伝子のグローバル調査

これまで我々の行った新潟水田土壌のメタトランスクリプトーム解析では、Deltaproteobacteria 綱の鉄還元菌である *Anaeromyxobacter* および *Geobacter* 属細菌の窒素固定遺伝子転写産物が高頻度に検出され、これらが水田土壌における窒素固定のキープレイヤーである可能性が示された。しかしこれは新潟水田土壌のみの解析結果であり、新潟以外の水田においても窒素固定を行うキープレイヤーは鉄還元菌であるのか、その他の陸域土壌においても同様であるのかについては不明である。そこで我々は、土壌環境における鉄還元細菌による窒素固定の普遍性を検証するために、国内・海外の様々な土壌環境の DNA データを収集し、鉄還元細菌の窒素固定遺伝子の検出頻度を調べた。国内の水田土壌(10 地点)、畑土壌(8 地点)、森林土壌(4 地点)、河川の底泥(7 地点)については、土壌試料を採取してメタゲノム解析を行い、DNA データを取得した。また、海外の 114 地点の土壌環境の DNA データは、公共のデータベース(MG-RAST; <https://www.mg-rast.org/>)から取得した。これらの DNA データから同源性検索によって

窒素固定遺伝子を抽出し、その微生物由来を調べた。

国内 29 地点の土壤環境の DNA データを解析したところ、うち 28 地点で *Anaeromyxobacter*, *Geobacter*, そして本研究成果 で新属提唱した *Geomonas*, *Oryzomonas* 属細菌の窒素固定遺伝子が検出された。また、水田土壤や河川の底泥では森林や畑土壤より高頻度に窒素固定遺伝子が検出された (Fig. 1)。これらのことから、鉄還元菌による窒素固定は日本各地の土壤において普遍的に行われており、特に水田土壤や河川の底泥においてそのポテンシャルが高いことが示された。

また、海外 98 地点の土壤環境の DNA データを解析したところ、うち 51 地点で *Geobacter* と *Anaeromyxobacter* の窒素固定遺伝子が検出された。また、これらの検出頻度は水田土壤だけでなく熱帯雨林等の森林土壤、砂漠、極地土壤においても高かった (Fig. 2)。これらのことから、鉄還元菌による窒素固定は水田土壤だけでなく他の環境においても活発に行われている可能性が示された。

以上のことから、鉄還元細菌による窒素固定は土壤環境において普遍的な事象であり、鉄還元細菌が土壤環境における窒素固定のキープレイヤーである可能性が示唆された。

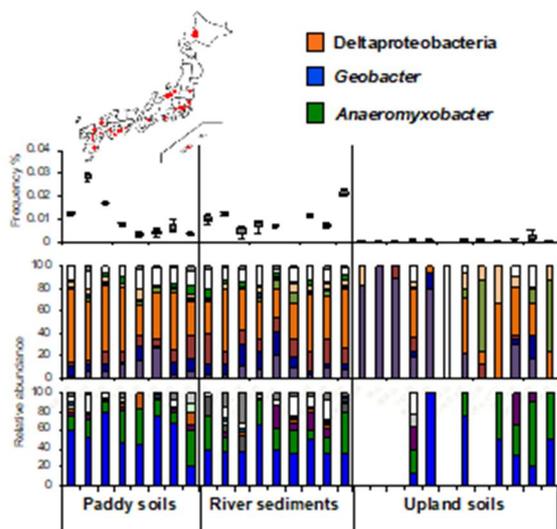


Fig.1 日本各地の土壤における窒素固定遺伝子の検出頻度および由来微生物群の組成

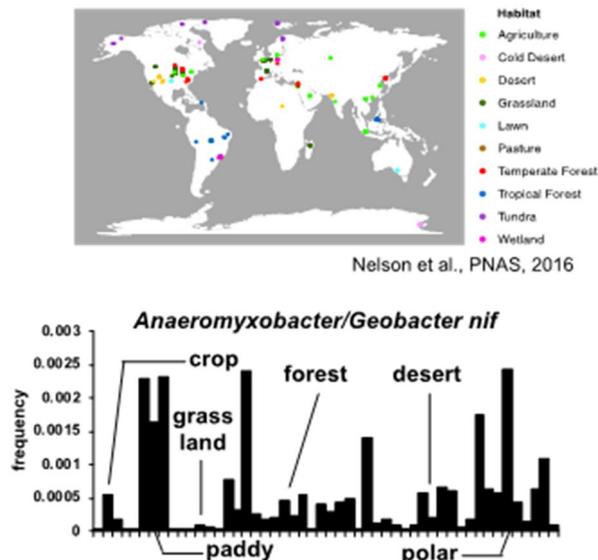


Fig.2 世界各地の土壤における鉄還元菌由来の窒素固定遺伝子の検出頻度

鉄還元細菌の窒素固定能の検証

- 1. 鉄還元細菌の単離, 窒素固定活性測定, 窒素固定遺伝子の同定

の土壤中の DNA に基づく解析が示すように、鉄還元細菌が土壤環境に普遍的かつ重要な窒素固定微生物であると推察された。しかしながら、実際に土壤から分離培養された例は限られており、培養試験に基づく解析で窒素固定活性を証明した例はほとんどなかった。そこで、土壤から鉄還元細菌を単離し、単離株の窒素固定遺伝子の同定および窒素固定能の検証を試みた。土壤そのものを集積培地として用いるユニークな手法を用いて、日本各地の土壤、畑土壤、森林土壤、河川の底泥からの単離を試みたところ、*Anaeromyxobacter* や *Geobacter* 属細菌に近縁な株を複数単離することができた。

Anaeromyxobacter 属細菌は 7 株得られ、全て水田土壤から単離された (Fig. 3A)。このうち 3 株のゲノムを解読したところ、全て株において窒素固定遺伝子がコードされていた。また、窒素ガスを唯一の窒素源として生育できること (Fig. 3B) その際に窒素固定遺伝子の転写量が上昇することがわかった。さらに、滅菌した土壤にこの *Anaeromyxobacter* 属細菌を接種したところ、土壤の窒素固定活性が上昇するとともに、土壤中での *Anaeromyxobacter* 属細菌の増殖も確認された。これらのことから、*Anaeromyxobacter* 属細菌は窒素固定活性を有すること、そして土壤中で窒素固定能を発揮できることが明らかとなった。*Anaeromyxobacter* 属細菌の窒素固定能を活性レベルで証明した例は世界ではじめてである。

Geobacter 属細菌に近縁なものも 700 株以上単離できたが、驚くべきことに既知記載種との DNA の相同性が一様に低く、全ての株が新規な系統群であることが示唆された。さらにゲノム解読や生理性状試験の結果、従来の *Geobacter* 属とは異なる特徴を示すこと、また分子進化系統樹上でも *Geobacter* 属から独立した系統群を形成することが判明し、2 つの新属 *Geomonas* と *Oryzomonas* を提案した (Fig. 3C)。これらの *Geomonas* 属細菌および *Oryzomonas* 属細菌も窒素固定遺伝子を保有し、窒素固定能を有することを明らかにした。

以上のように、土壤から窒素固定遺伝子が高頻度に検出される鉄還元細菌が実際に窒素固定活性を有することを証明し、「鉄還元細菌による窒素固定」の重要なエビデンスを得ることができた。

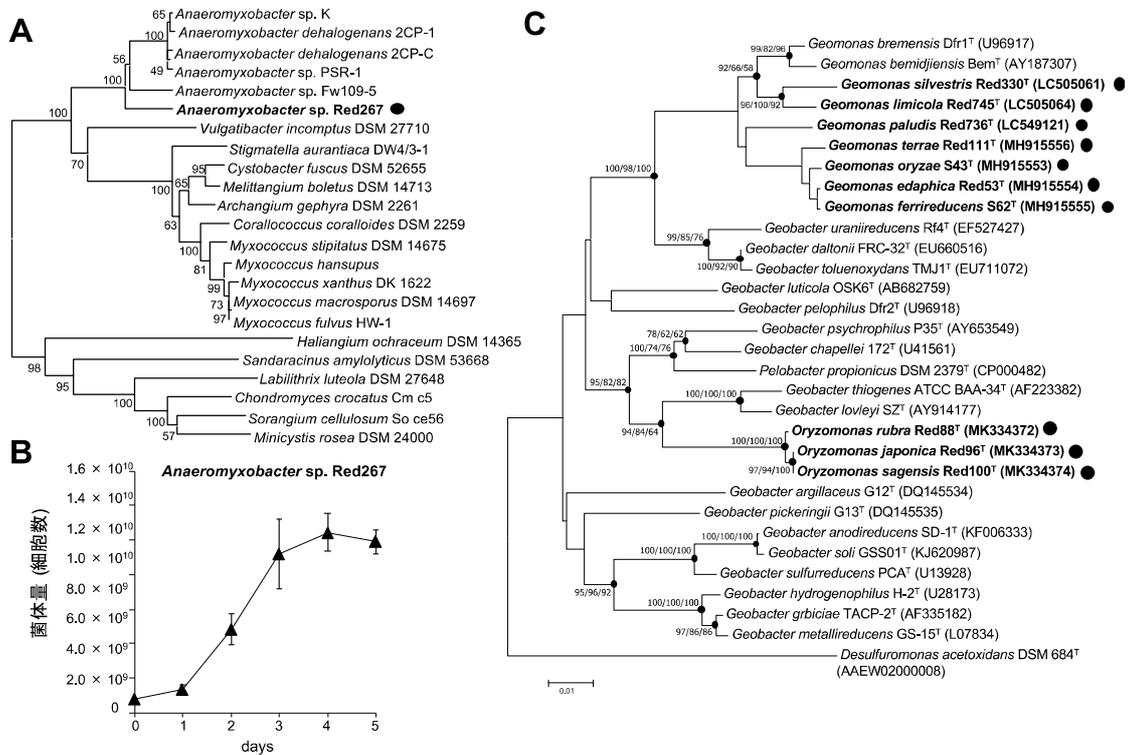


Fig. 3 単離した鉄還元細菌の代表株の分類系統(A, C)と窒素固定による生育(B)。系統樹上の太文字は本研究で単離した*Anaeromyxobacter* (A), *Geomonas*と*Oryzomonas* (C)の株を示す。*Anaeromyxobacter* は窒素ガスを窒素源として生育した(=窒素固定能あり)(B)。出典：Masuda et al., Appl. Environ. Microbiol., 86:00956-20, 2020; Itoh et al., Int. J. Syst. Evol. Microbiol., 71:004607, 2021

- 2 . 土壌における鉄還元細菌の窒素固定能の検証

様々な土壌における窒素固定活性が高まる最適条件の選定及び窒素固定活性のプロファイリング

池の底泥、水田、森林、畑地など、様々な土壌において窒素固定活性が高まる最適条件の選定を目的として、土壌水分量、培養期間及び窒素固定活性測定条件の検討を行った。加えて、選定した最適条件下での窒素固定活性を土壌環境間で比較した。アセチレン還元活性(ARA)法により土壌の窒素固定活性を分析した結果、土壌水分量の上昇は窒素固定活性を高めることが明らかとなった。また、好気条件下での7日培養や、ARA測定時の気相を2%O₂添加条件にした際には、窒素固定活性の低下、及び再現性の低下を招くことが分かった。そのため、水分条件を酸素による影響を受けにくい最大容水量の200%(WHC200%)の湛水状態、ARA測定時の気相が無酸素の条件を、鉄還元細菌による窒素固定活性を評価する条件として選定した。選定した条件で様々な土壌の窒素固定活性を比較すると、池の底泥が最も窒素固定活性が高く、ついで水田土壌で高いことが明らかとなった。森林、畑土壌においても、値は低いものの水分添加条件で活性が確認された。

還元環境由来試料の窒素固定活性と鉄還元細菌の関係

で選抜した条件下において、池の底泥、水田土壌の窒素固定活性と鉄還元細菌群の遺伝子発現量との関係を調査した。土壌培養は前項に加えて嫌気培養も行なった。ARA測定では、いずれの試料も嫌気培養によって窒素固定活性が上昇し、好気培養により減少する傾向にあった。特に活性の高かった池の底泥では、*Anaeromyxobacter*属細菌の16S rRNA遺伝子発現量は好気、嫌気培養共に培養日数に従い上昇が確認された。*Geobacter*属細菌の16S rRNA遺伝子発現量は嫌気培養3日目でも高かった。嫌気条件下で培養した土壌の*Anaeromyxobacter*属、*Geobacter*属細菌の16S rRNA遺伝子発現量と窒素固定活性の間には正の相関が確認された。水田土壌では、*Anaeromyxobacter*属細菌、*Geobacter*属細菌の16S rRNA遺伝子発現量は培養による変化がなかった。しかし、全細菌種を標的とした16S rRNA遺伝子発現量に対する*Anaeromyxobacter*属細菌の相対存在量は最大16%であり、池の底泥(最大0.7%)よりも高かった。以上の結果より、池の底泥では、嫌気条件下で鉄還元細菌群の窒素固定活性への寄与が示唆された。水田土壌では、*Anaeromyxobacter*属、*Geobacter*属細菌の16S rRNA遺伝子発現量と窒素固定活性の相関は確認されなかった。しかし、*Anaeromyxobacter*属細菌の遺伝子発現量が池の底泥と比べ高かったことから、鉄還元細菌群の活動が水田土壌生態系において重要であることが示唆された。

好気的な環境を含む様々な土壌の窒素固定活性と鉄還元細菌の関係

森林土壌、畑土壌および水田土壌を対象に前項と同様の実験を行った。ARA測定の結果、森林土壌では嫌気条件下での培養によって窒素固定活性が上昇したが、好気条件下では低下した。畑、水田土壌では好気、嫌気いずれの培養でも活性が確認されたが、反復実験で再現性が得られな

った。森林土壌試料で遺伝子発現解析を行うと、*Anaeromyxobacter* 属、*Geobacter* 属細菌の 16S rRNA 遺伝子発現量は嫌気培養で上昇していた。また、全細菌種を標的とした 16S rRNA 遺伝子発現量に対する *Anaeromyxobacter* 属、*Geobacter* 属細菌の相対存在量も上昇していた。得られたそれぞれの定量値と窒素固定活性は、いずれも正の相関関係にあり、特に相対存在量の値とより強い相関を示した。一方で、全細菌種を標的とした 16S rRNA 遺伝子発現量と窒素固定活性は相関しなかったことから、鉄還元細菌の遺伝子発現量の変動と窒素固定活性の間に関係があることが示唆された。

以上から、鉄還元細菌の活動は、還元的な環境が保たれることにより高まることが明らかとなり、これらの細菌の自然環境中での窒素固定への貢献が示唆された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 4件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Zhenxing Xu, Yoko Masuda, Hideomi Itoh, Natsumi Ushijima, Yutaka Shiratori, Keishi Senoo	4. 巻 10
2. 論文標題 Geomonas oryzae gen. nov., sp. nov., Geomonas edaphica sp. nov., Geomonas ferrireducens sp. nov., Geomonas terrae sp. nov., four ferric-reducing bacteria isolated from paddy soil, and reclassification of three species of the genus Geobacter as members of the genus Geomonas gen. nov.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Frontiers in Microbiology	6. 最初と最後の頁 2201
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fmicb.2019.02201	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 浅見忠男・安藤康雄・森川正章・Jog Rahul・三輪京子・池田成志・松井章浩・佐古香織・上田実・Khurram Bashir・砂押裕司・Sultana Rasheed・田中真帆・石田順子・金鍾明・Huong Mai Nguyen・吉田稔・土生芳樹・関原明・野尻秀昭・妹尾啓史	4. 巻 90(1)
2. 論文標題 日本農芸化学会との合同企画シンポジウム「植物・微生物機能の解析・制御と食糧・バイオマス生産への応用展開」	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本土壌肥科学雑誌	6. 最初と最後の頁 82-87
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 増田曜子・伊藤英臣・白鳥豊・妹尾啓史	4. 巻 58(3)
2. 論文標題 水田土壌における鉄還元菌窒素固定の発見と応用 オミクス解析から低窒素農業へ	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 化学と生物	6. 最初と最後の頁 143-150
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 Zhenxing Xu, Yoko Masuda, Chie Hayakawa, Natsumi Ushijima, Keisuke Kawano, Yutaka Shiratori, Keishi Senoo and Hideomi Itoh	4. 巻 8(5)
2. 論文標題 Description of Three Novel Members in the Family Geobacteraceae, Oryzomonas japonicum gen. nov., sp. nov., Oryzomonas sagensis sp. nov., and Oryzomonas ruber sp. nov.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Microorganisms	6. 最初と最後の頁 634
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/microorganisms8050634	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 妹尾啓史・増田曜子・伊藤英臣・野田口理孝・田畑 亮・岡安浩次・澤井 優・鈴木孝征・黒谷賢一・藤 雅子・Yuniar Devi Utami・清水幸子・西條雄介・大森良弘・藤原 徹・白鳥 豊・太田沙由理	4. 巻 91(2)
2. 論文標題 理想の農業を追求する -サステイナブルで革新的な食糧生産を支える基礎研究と現場技術-	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本土壤肥科学雑誌	6. 最初と最後の頁 94-98
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20710/dojo.91.2_94	査読の有無 無
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 -

〔学会発表〕 計23件 (うち招待講演 9件 / うち国際学会 10件)

1. 発表者名 Yoko Masuda, Haruka Yamanaka, Hideomi Itoh, Zhenxing Xu, Yutaka Shiratori, Seigo Amachi, Toshihiro Aono, Keishi Senoo
2. 発表標題 Nitrogen fixation by iron reducing bacteria - previously overlooked diazotrophs essential for sustainable soil-plant ecosystems
3. 学会等名 11th Asian Symposium of Microbial Ecology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoko Masuda, Haruka Yamanaka, Hideomi Itoh, Zhenxing Xu, Yutaka Shiratori, Seigo Amachi, Toshihiro Aono, Keishi Senoo
2. 発表標題 Nitrogen fixation of iron reducing bacteria in paddy soils - previously overlooked diazotroph essential for sustainable soil nitrogen fertility -
3. 学会等名 5th Asian Conference on Plant-Microbe Symbiosis & Nitrogen Fixation Program (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takanori Ishida, Yoko Masuda, Yutaka Shiratori, Hideomi Itoh, Keishi Senoo
2. 発表標題 Boosting nitrogen fixation of iron-reducing bacteria in paddy soil by Fe(iii) and rice straw application
3. 学会等名 5th Asian Conference on Plant-Microbe Symbiosis & Nitrogen Fixation Program (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Masuda, H. Yamanaka, H. Itoh, Y. Shiratori, S. Amachi, T. Aono, K. Senoo
2. 発表標題 Nitrogen fixation of iron reducing bacteria in rice paddy soils - potent agents for sustainable crop production with low nitrogen input
3. 学会等名 15th symposium on Bacterial Genetics and Ecology (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Keishi Senoo
2. 発表標題 Nitrogen fixation of iron reducing bacteria in rice paddy soils - discovery, verification and application to low-nitrogen agriculture -
3. 学会等名 Seminar at National Engineering Research Center for Biotechnology and School of Biotechnology and Pharmaceutical Engineering, Nanjing Tech University (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Keishi Senoo
2. 発表標題 Soil microbial ecology for sustainable agriculture
3. 学会等名 Seminar at Nanjing University of Information Science and Technology (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 増田曜子・伊藤英臣・白鳥豊・妹尾啓史
2. 発表標題 水田土壌における鉄還元菌窒素固定の発見と応用 - マイクロバイオーム解析から低窒素農業へ -
3. 学会等名 日本土壌微生物学会 2019 年度大会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 妹尾啓史・増田曜子・伊藤英臣・白鳥豊
2. 発表標題 水田土壌における鉄還元菌窒素固定の発見と低窒素農業への応用の試み - オミクス解析からサステイナブル農業へ -
3. 学会等名 日本土壌肥料学会2019年度大会シンポジウム 理想の農業を追求する - サステイナブルで革新的な食糧生産を支える基礎研究と現場技術
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高野諒・石田敬典・増田曜子・伊藤英臣・白鳥豊・妹尾啓史
2. 発表標題 水田土壌における鉄還元菌窒素固定：鉄添加による窒素固定活性の増強
3. 学会等名 日本土壌肥料学会2019年度大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 河野圭丞・Zhenxing Xu・増田曜子・白鳥豊・妹尾啓史・伊藤英臣
2. 発表標題 水田土壌を集積培地として用いた鉄還元細菌の単離
3. 学会等名 日本土壌肥料学会2019年度大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 増田曜子・Zhenxing Xu・山中遥加・伊藤英臣・白鳥豊・妹尾啓史
2. 発表標題 水田土壌における鉄還元菌窒素固定の発見と検証
3. 学会等名 日本微生物生態学会第33回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Zhenxing Xu, Yoko Masuda, Hideomi Itoh, Keishi Senoo
2. 発表標題 Isolation and characterization of Geomonas species, a novel genus involved in reductive nitrogen transformation in paddy soils
3. 学会等名 日本微生物生態学会第33回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Keishi Senoo
2. 発表標題 Identification and isolation of active N ₂ O reducers in rice paddy soil, and application to N ₂ O mitigation
3. 学会等名 China-Japan Symposium on Rhizosphere Cross-talk (NFSC-JST Cooperative Research Projects) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Keishi Senoo
2. 発表標題 Microbial Drivers of Nitrogen Transformation in Rice Paddy Soil: Identification, Isolation and Application to N ₂ O Mitigation
3. 学会等名 Seminar at Nanjing University of Information Science and Technology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Keishi Senoo
2. 発表標題 Microbial Drivers of Nitrogen Transformation in Rice Paddy Soil: Identification, Isolation and Application to N ₂ O Mitigation
3. 学会等名 Seminar at Nanjing Agricultural University (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Keishi SENOO
2. 発表標題 Microbial Ecology of Nitrogen Dynamics in Agricultural Soils: Key Drivers of Reductive Nitrogen Transformation in Paddy Field and N ₂ O Generation in Upland Field
3. 学会等名 2018 International Symposium and Annual Meeting of the KSABC (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yoko Masuda, Hideomi Itoh, Yutaka Shiratori, Keishi Senoo
2. 発表標題 Nitrogen fixing activity of iron reducing bacteria in paddy soils: potent agents for low nitrogen rice production in East Asia
3. 学会等名 NARO-MARCO International Symposium on Nitrogen Cycling and Its Environmental Impacts in East Asia (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 妹尾啓史
2. 発表標題 農耕地土壌の窒素循環微生物の群集構造と機能、環境保全型農業への応用
3. 学会等名 (一財)バイオインダストリー協会 植物バイオ研究会 第16回会合「植物バイオの先端技術(1)セミナー」(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 増田曜子、伊藤英臣、白鳥豊、天知誠吾、妹尾啓史
2. 発表標題 陸域土壌における鉄還元菌窒素固定遺伝子の分布 - 水田だけではない!? 鉄還元菌による窒素固定 -
3. 学会等名 日本微生物生態学会、10th Asian Symposium on Microbial Ecology (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山中遥加、増田曜子、伊藤英臣、青野俊裕、天知誠吾、白鳥豊、妹尾啓史
2. 発表標題 鉄還元細菌の窒素固定能の検証
3. 学会等名 日本土壌肥料学会2018年度神奈川大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松島賢吾、藤村玲子、増田曜子、山中遥加、伊藤英臣、白鳥豊、青野俊裕、大塚重人、妹尾啓史
2. 発表標題 還元的な陸域環境下における鉄還元細菌の窒素固定活性の検証
3. 学会等名 日本土壌肥料学会2018年度神奈川大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 増田曜子、伊藤英臣、白鳥豊、妹尾啓史
2. 発表標題 水田土壌の優占種、鉄還元細菌の新機能 ～窒素肥沃度を支えるキープレーヤー～
3. 学会等名 第11回北陸バイオシンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Zhenxing Xu, Yoko Masuda, Hideomi Itoh, Keishi Senoo
2. 発表標題 Isolation and characterization of Geobacter species, potential drivers of reductive nitrogen transformation in paddy soils
3. 学会等名 日本農芸化学会2019年度大会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔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	伊藤 英臣 (Itoh Hideomi) (70748425)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・生命工学領域・主任 研究員 (82626)	

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
---------	---------