

令和 3 年 5 月 1 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2017～2019

課題番号：17H01464

研究課題名（和文）水田土壌の自律的な窒素肥沃度維持を担う微生物メカニズムの解明

研究課題名（英文）Microbial mechanism for sustainable nitrogen fertility in rice paddy soil

研究代表者

妹尾 啓史（Senoo, Keishi）

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） 33,000,000円

研究成果の概要（和文）：水田土壌の窒素肥沃度維持の微生物メカニズムを解析した。土壌の解析から、鉄還元菌による窒素固定反応ならびにDNRA（硝酸のアンモニアへの異化的還元）反応が窒素肥沃度維持に重要であることを示した。土壌から鉄還元菌を分離し、窒素固定能を確認した。さらに、土壌に鉄を施用することにより、土壌の窒素固定活性を増強できることを見出した。一方、土壌で脱窒反応により生成するN₂O（一酸化二窒素）を固定して窒素肥沃度維持に貢献している可能性があるBradyrhizobium属細菌を見出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

「稲は地力でとる」と言われる、水田土壌が本来有する窒素肥沃度維持につながる微生物メカニズムとして、鉄還元菌が行う窒素固定ならびにアンモニア生成反応が重要であることを世界で初めて明らかにした。窒素肥沃度維持の微生物基盤を刷新するものであり、水田土壌微生物学の大きな前進である。鉄の施用による土壌窒素固定活性増強の発見は、窒素肥料を低減した水稻生産技術につながり、地球・地域環境を保全した農業に大きく貢献する。

研究成果の概要（英文）：We examined microbial mechanisms for sustainable nitrogen fertility in rice paddy soil. Soil analyses indicated that nitrogen fixation and DNRA (dissimilatory nitrate reduction to ammonia) driven by iron-reducing bacteria are important for the sustainable soil nitrogen fertility. Indeed, we verified nitrogen-fixing ability of iron-reducing bacteria isolated from paddy soils. In addition, application of iron to paddy soil could enhance nitrogen fixing activity of the soils. On the other hand, we found a Bradyrhizobium strain that might contribute to sustainable nitrogen fertility by fixing N₂O, one of the end products of denitrification in paddy soil.

研究分野：土壌学

キーワード：水田土壌 窒素肥沃度 窒素固定 DNRA 鉄還元菌

1. 研究開始当初の背景

古くから「麦は肥料で、稲は地力でとる」と言われてきた。すなわち、施肥に大きく依存している畑作とは対照的に、水田においては土壌が本来有する窒素肥沃度(地力窒素)が水稻の生育を大きく支えており、窒素肥料無施用区でも通常施用区の6-7割の収量が得られる。これは、水田土壌には自律的に窒素肥沃度を維持する窒素変換が存在することを意味している。窒素変換は土壌微生物によって駆動されるが、肥沃度維持につながるメカニズムは不明であった。これまで我々は、この微生物メカニズム解明の糸口となる次の複数の新規知見を見出した。

I. 鉄還元菌による窒素固定ならびに硝酸のアンモニアへの異化的還元

新潟県農業総合研究所内の水田土壌を対象としたメタトランスクリプトーム解析から、窒素固定並びに硝酸のアンモニアへの異化的還元反応(dissimilatory nitrate reduction to ammonia, DNRA)の機能遺伝子転写産物が検出され、その大部分が *Deltaproteobacteria* 綱の鉄還元菌由来であった(図1)。これにより、水田土壌では鉄還元菌がこれらの反応のキープレイヤーであり、以下2つの事象が起きているという可能性が初めて示された(Masuda et al., 2017)。

(1) 鉄還元菌による窒素固定

水田土壌微生物の優占種である鉄還元菌が、湛水期に加え水稲収穫後も土壌の嫌気部位で窒素固定を活発に行い、土壌の窒素固定の基幹を担っている。

(2) 鉄還元菌によるDNRA反応

脱窒による窒素の放出を防ぎアンモニアを生成する重要な反応でありながら水田での活性が未知であったDNRA反応は、主に鉄還元菌が駆動しており、湛水期の嫌気部位で特に活発に起きている。

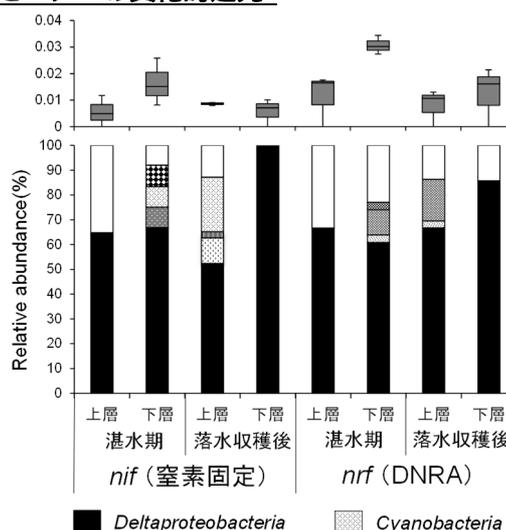


図1 湛水期と落水収穫後の水田土壌メタトランスクリプトームに含まれる窒素固定、DNRA反応の機能遺伝子の相対存在量(上図)ならびに、持ち主として推定される微生物群の割合(下図)。いずれもデルタプロテオバクテリア由来の遺伝子が高頻度に検出され、その大部分が鉄還元菌である。

II. 脱窒反応により生成したN₂Oの固定

硝酸が窒素ガスに還元される脱窒反応は、土壌窒素の大気への損失経路であると長年みなされてきた。我々は、水田脱窒菌群集は脱窒反応の中間産物であるN₂OガスをN₂ガスと同等量生成することを示した(Tago et al., 2011)。N₂Oガスは窒素ガスに比べて土壌水への溶解度が著しく高いことから、我々は、溶解したN₂Oを固定して回収する以下2つの新たな窒素変換経路を提唱する。

(1) 窒素固定菌によるN₂固定

これまでに窒素固定遺伝子 nitrogenase がN₂Oを直接アンモニアへ固定する可能性が示されており(Yamazaki et al., 1987)、鉄還元菌を中心とする水田土壌の多様な窒素固定菌がこれを行っている。

(2) N₂OのN₂への還元(脱窒)と窒素固定

水田土壌で優占する *Bradyrhizobium* 属細菌等の窒素固定能と脱窒能を併せ持つ細菌やメタトランスクリプトーム解析で高頻度に窒素変換関連遺伝子の転写産物が検出された鉄還元菌のようにN₂O還元能と窒素固定能を併せ持つ細菌が、土壌水に溶解したN₂OをN₂に還元し、さらにアンモニアを生成することによりN₂O固定を行う。

2. 研究の目的

本研究は上記IとIIの可能性を検証し、鉄還元菌による窒素固定およびDNRA反応の肥沃度維持における重要性、脱窒反応に続くN₂Oの固定反応の進行、それらの制御要因を明らかにすることを目的とし、以下のサブ課題を実施することとした。

(1) 窒素無施用水田における窒素動態と窒素固定・DNRA微生物、その制御要因の解析

窒素無施用区、化学肥料連用区の両区土壌の窒素動態を調べ、窒素無施用区土壌の特徴を明らかにする。両区土壌の窒素固定およびDNRA関連遺伝子の発現、窒素無施用区土壌の特徴、特に鉄還元菌が窒素固定、DNRA反応を活発に駆動していることを明らかにする。さらに、鉄還元菌を土壌から分離して窒素固定・DNRA能力を実験室内で確認する。

以上から、窒素無施用水田における窒素動態と窒素変換微生物の全貌を解明し、窒素肥沃度

維持の微生物メカニズム、特に鉄還元菌の重要性を明らかにする。一方、鉄還元菌による窒素固定やDNRA反応は、電子供与体である水溶性炭素(稲わら分解で生成する糖・アミノ酸・有機酸など)の組成・量と、電子受容体である酸化鉄・硝酸の量によって制御されていると予想される。このことを室内系土壌マイクロコズムで解析し、土壌における窒素固定とDNRA反応を増強する方法の基礎情報とする。

(2) 脱窒反応により生成したN₂Oの固定反応の検証

水田土壌から分離した窒素固定菌、脱窒-窒素固定菌、および分離予定の窒素固定鉄還元菌を用いて、窒素肥沃度維持に大きく寄与していると考えられる(i)窒素固定菌によるN₂O固定、(ii)N₂OのN₂への還元(脱窒)と窒素固定、を検証する。さらに、土壌マイクロコズムでN₂O固定反応の進行と制御要因を明らかにし、土壌におけるN₂O固定を増強する方法の基礎情報とする。

上記(1)と(2)の解析結果から、水田土壌における窒素肥沃度維持の微生物メカニズムを明らかにするとともに、それを制御・活用して「低窒素施肥・高肥沃度維持・高収量」を実現する土壌管理技術を開発するための科学的基盤を得る。

3. 研究の方法

(1) 窒素無施用水田における窒素動態と窒素固定・DNRA細菌、その制御要因の解析

(1-1) 窒素動態解析

新潟県農業総合研究所内で37年間維持管理されている長期窒素肥料無施用区および通常施用区の水田土壌を解析することとし、両区土壌の窒素量の経時的变化(栽培開始前、湛水期、中干し期、間断灌漑期、収穫後)を明らかにした。窒素量の指標として、全窒素、無機態窒素(アンモニア・硝酸・亜硝酸)を分析した。

(1-2) 窒素固定・DNRA細菌の解析

(1-2-1) 土壌中の窒素固定・DNRA機能遺伝子解析

両区土壌の窒素固定およびDNRA機能遺伝子量と由来微生物群の部位別・時期的変化を明らかにした。手法として、土壌から抽出したRNAに含まれる窒素固定遺伝子*nif*およびDNRA遺伝子*nrf*をターゲットとした定量PCRを用いた。

(1-2-2) 鉄還元菌の分離と生理性状解析

予備的メタトランスクリプトーム解析で窒素固定とDNRAへの大きな寄与が示唆された*Deltaproteobacteria*綱の鉄還元菌を、我々が開発した集積培養法を用いて水田土壌から分離した。単離株は生理性状試験および窒素固定能の検証を行った。

(2) 脱窒反応で生成したN₂Oの固定反応の検証

これまでに水田土壌から脱窒菌・N₂O還元脱窒菌として分離し、窒素固定遺伝子の保有と窒素固定活性を確認した菌株を材料とし、N₂OをN₂に還元し、さらに窒素固定を行って菌体に取り込むかどうかを¹⁵Nトレーサー法によって明らかにした。

(3) 「低窒素施肥・高肥沃度維持・高収量」を実現する土壌管理技術の開発

(1-2-2)により明らかとなった鉄還元菌の窒素固定活性を高める制御要因を、室内系の水田土壌マイクロコズムおよび実際の圃場に適用し、実際に鉄還元菌の窒素固定活性が高まるかどうかを検証した。検証には、窒素固定活性および鉄還元菌由来の*nif*をターゲットとした定量PCRを用いた。

4. 研究成果

(1) 窒素無施用水田における窒素動態と窒素固定・DNRA細菌、その制御要因の解析

(1-1) 窒素動態解析

新潟県農業総合研究所内の肥料長期連用試験水田の窒素無施用区(No Nitrogen: NN区)と化学肥料施用区(Chemical Fertilizer: CF区)土壌の酸化還元電位(Eh)、アンモニア濃度、Fe²⁺濃度、硝酸濃度、全窒素・炭素量を経時的に測定した。その結果、NN区とCF区において土壌理化学性は同様に変動していること、両区土壌において収穫後に少なくなっていたアンモニアが冬季から春季にかけての還元条件下で回復していることが明らかとなった。また、NN区とCF区において土壌理化学性の全ての項目で有意差はなかった。

新潟県農業総合研究所内の肥料長期連用試験水田の窒素無施用区(NN区)と化学肥料施用区(CF区)土壌を用いて有機物(稲わら)添加の有無や温度、水管理を変化させた様々な条件のマイクロコズムを構築し、それらの窒素固定活性への影響とその変動をアセチレン還元活性法によって調べた。その結果、有機物を添加して土壌Ehが下降し還元された鉄の量が増加している際に活性が最大となった。また、冬季の積雪下においても窒素固定活性が行われていると考えられた。これらのことから、本章において検出された窒素固定活性は鉄還元菌に由来する可能性が高く、冬季期間にも鉄還元菌による窒素固定が行われていると考えられた。

(1-2)窒素固定・DNRA 細菌の解析

(1-2-1)土壌中の窒素固定・DNRA 機能遺伝子解析

上記の圃場の土壌 RNA を用いて鉄還元菌由来の窒素固定遺伝子 *nifD* と DNRA 遺伝子 *nrfA* それぞれの転写産物を対象とした定量 PCR 解析を行い、それらの季節変動を調査した。両区の水田土壌において年間を通して *Anaeromyxobacter* 属、*Geobacter* 属の鉄還元細菌による窒素固定が行われており、主に水稲栽培期に DNRA 反応が起きていると考えられた。一方、これまでに主に窒素固定を行っていると考えられてきた細菌群を対象とした universal primer (Stoltzfus et al., 1997)を用いた定量 PCR では、*nifD* 転写産物が全く検出されなかった。

このように、窒素無施用区 (NN 区) と化学肥料施用区 (CF 区) 土壌の理化学性や土壌由来の RNA に含まれる *nifD* および *nrfA* 量に区画間の有意差がなかった。このことから、窒素無施用区 (NN 区) においても化学肥料施用区 (CF 区) においても水稲の生育は基本的にこの鉄還元菌窒素固定に支えられており、CF 区では施肥された窒素を水稲が利用することでさらに収量が増加すると考えられた。

(1-2-2)鉄還元菌の分離と生理性状解析

さらに我々は、我々が開発した滅菌水田土壌を培地とした集積培養法を用いて、*Anaeromyxobacter* 属細菌を 10 株以上、および *Geobacter* 属細菌を 100 株以上単離することに成功した (Xu et al., 2019, Front Microbiol; Xu et al., 2020, Microorganisms; Itoh et al., 2021, Int J Syst Evol Microbiol)。これらの株について 16S rRNA 遺伝子配列を解読し、系統関係を調べたところ、単離したほとんどの *Anaeromyxobacter* 属細菌および *Geobacter* 属細菌が新規株であることがわかった (図 2 A, C)。また、*Geobacter* 属細菌の新規株について窒素固定活性を測定したところ、全ての株で高い活性が確認された。これら細菌はこれまで水田土壌から単離されておらず、本研究は極めて重要な新規株の取得に成功した。前年度に取得した窒素固定遺伝子を保有している *Anaeromyxobacter* sp. の窒素固定活性を、培地条件下および水田土壌マイクロコスモ条件下において調査した (図 2B, 表 1)。その結果、どちらの条件においてもこれらは窒素固定活性を示し、土壌中においても窒素固定を行っていることが示唆された (Masuda et al., 2020, Appl Environ Microbiol)。さらに、これら鉄還元菌は炭素源が十分に存在する培地に電子受容体である鉄酸化物を高濃度添加し培養を行うと、窒素固定活性が増強されることが示された。

	No. of 16S rRNA (copies/g-soil)	C ₂ H ₄ (nmol/g-soil/h)
before incubation	nd	nd
Control (water added)	nd	nd
<i>Anaeromyxobacter</i> sp. (2.38 ± 2.14) × PSR-1	10 ⁵	0.24 ± 0.33
<i>Anaeromyxobacter</i> sp. (1.39 ± 0.56) × Red267	10 ⁵	0.58 ± 0.38

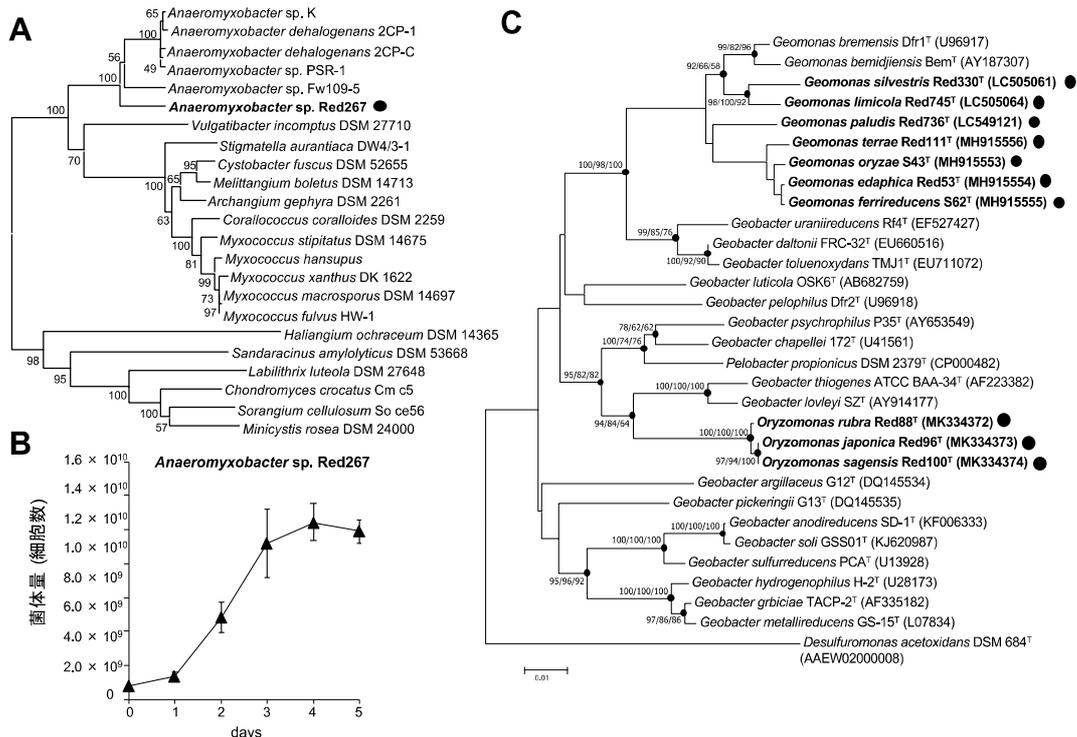


図2. 単離した鉄還元菌の代表株の系統樹 (A,C) と窒素ガスを単一窒素源とした際の生育 (B)。

(2) 脱窒反応で生成した N₂O の固定反応の検証

水田土壌から脱窒菌として分離し、窒素固定能を有することも確認した *Bradyrhizobium* 属細菌数株を、気相に N₂O を添加した無窒素培地で培養し、菌体の増殖と N₂O の減少を調べた。これにより、最も高い N₂O 減少率を示す *Bradyrhizobium* 菌株を選抜した。この N₂O 還元能が高いと考えられた *Bradyrhizobium* 菌株を用いて ¹⁵N₂O を添加・培養し、気相部の ¹⁵N₂O 濃度、¹⁵N₂ 濃度、菌体の ¹⁵N 同位体比を経時的に測定した。培養時間と共に ¹⁵N₂O は減少し、¹⁵N₂ が増加した。気相部において、¹⁵N₂O 減少量と ¹⁵N₂ 生成量の差分と、菌体に同化された ¹⁵N 量について比較してみると、どの培養時間においても、還元された ¹⁵N₂O の量と生成された ¹⁵N₂ の量の差分の方が菌体に同化された ¹⁵N の量よりも多いことが確認された。これらは N₂O が *nif* 遺伝子を有する脱窒菌株によって同化的に還元されていることを強く支持する結果である。

(3) 「低窒素施肥・高肥沃度維持・高収量」を実現する土壌管理技術の開発

本研究の当初の目的は、水田土壌微生物による窒素肥沃度維持のメカニズムを解明することであった。本研究では(1)において、鉄還元細菌による窒素固定が窒素肥沃度維持に重要な役割を果たしていることを示した。さらに、鉄還元菌の培養実験から、炭素源が十分な条件では、培地中の鉄の濃度を高くすると鉄還元菌の窒素固定活性が高まることが観察された。これらのことから、水田土壌への鉄の添加により鉄還元細菌に由来する土壌の窒素固定活性を高めることができると期待された。このことを室内土壌ミクロコスモス試験ならびに圃場試験で確かめた。

室内実験系において、水田土壌に鉄の酸化物のフェリハイドライトや Fe₂O₃ を添加して湛水状態にして保温静置したところ、無添加土壌と比較して土壌の窒素固定活性が有意に高まり(図3)、鉄還元細菌の窒素固定遺伝子の転写量が上昇した(表2) (Masuda et al., 2021, *Soil Sci Plant Nutr*)。このとき、従来よく知られてきた窒素固定微生物の窒素固定遺伝子の転写産物は検出されなかった。このことから、鉄酸化物を土壌に供給することが、土壌の鉄還元細菌による窒素固定を特異的に活性化させ、土壌の窒素肥沃度の向上につながる可能性を見出した。

さらに、水田圃場において、土壌に純鉄粉を施用する区画を設け、純鉄粉が酸化した後水を入れて水稲を栽培した。鉄施用区の土壌の方が無施用区の土壌よりも有意に高い窒素固定活性を示した(図4) (Masuda et al., 2021, *Soil Sci Plant Nutr*)。また、鉄施用区において玄米収量が多くなる傾向が見られた。これらの結果は、鉄の施用により水田土壌の窒素肥沃度を高め、水稲の収量を高める新しい農業技術につながる可能性を示している。

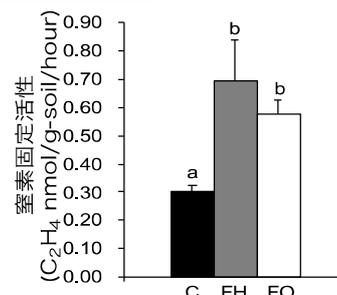


図3. 鉄酸化物添加による土壌の窒素固定活性への影響 (n=3)。C, 無添加土壌; FH, フェリハイドライト添加; FO, Fe₂O₃添加

	Copy numbers/g-soil		
	C	FH	FO
<i>Anaeromyxobacter</i> and <i>Geobacter</i>	ND	(1.6 ± 2.8) × 10 ⁵	(4.7 ± 4.1) × 10 ⁵
General diazotrophs	ND	ND	ND

C, Control; FH, ferrihydrite-supplemented soil; FO, Fe₂O₃-supplemented soil; ND, under the detection limit

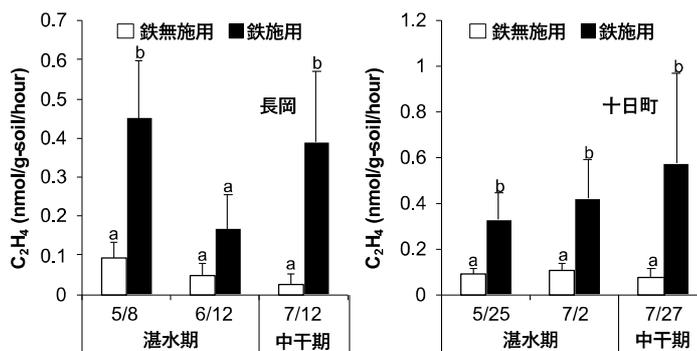


図4. 鉄資材施用による長岡 (A) および十日町 (B) 土壌の窒素固定活性上昇。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Masuda Y, Itoh H, Shiratori Y, Isobe K, Otsuka S, Senoo K	4. 巻 32
2. 論文標題 Predominant but previously-overlooked prokaryotic drivers of reductive nitrogen transformation in paddy soils, revealed by metatranscriptomics	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Microbes Environ.	6. 最初と最後の頁 180-183
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1264/j sme2.ME16179	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 Xu Zhenxing, Masuda Yoko, Itoh Hideomi, Ushijima Natsumi, Shiratori Yutaka, Senoo Keishi	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 Masuda Yoko, Yamanaka Haruka, Xu Zhen-Xing, Shiratori Yutaka, Aono Toshihiro, Amachi Seigo, Senoo Keishi, Itoh Hideomi	4. 巻 86
2. 論文標題 Diazotrophic Anaeromyxobacter Isolates from Soils	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied and Environmental Microbiology	6. 最初と最後の頁 e00956-20
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1128/AEM.00956-20	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 Xu Zhenxing, Masuda Yoko, Hayakawa Chie, Ushijima Natsumi, Kawano Keisuke, Shiratori Yutaka, Senoo Keishi, Itoh Hideomi	4. 巻 8
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 ~ 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 Itoh Hideomi, Xu Zhenxing, Masuda Yoko, Ushijima Natsumi, Hayakawa Chie, Shiratori Yutaka, Senoo Keishi	4. 巻 71
2. 論文標題 Geomonas silvestris sp. nov., Geomonas paludis sp. nov. and Geomonas limicola sp. nov., isolated from terrestrial environments, and emended description of the genus Geomonas	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology	6. 最初と最後の頁 4607
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1099/ijsem.0.004607	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 Masuda Yoko, Shiratori Yutaka, Ohba Hiroto, Ishida Takanori, Takano Ryo, Satoh Sakura, Shen Weishou, Gao Nan, Itoh Hideomi, Senoo Keishi	4. 巻 online
2. 論文標題 Enhancement of the nitrogen-fixing activity of paddy soils owing to iron application	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Soil Science and Plant Nutrition	6. 最初と最後の頁 online
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/00380768.2021.1888629	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 増田 曜子, 伊藤 英臣, 白鳥 豊, 妹尾 啓史	4. 巻 58
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 増田 曜子, 伊藤 英臣, 白鳥 豊, 妹尾 啓史	4. 巻 74
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 - マイクロバイオーム解析から低窒素農業へ -	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 土と微生物	6. 最初と最後の頁 2-7
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 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. 論文標題 理想の農業を追求する - サステ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 日本土壤肥料学雑誌	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) 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 妹尾啓史	4. 巻 2020年10月号
2. 論文標題 チソ固定の新たな役者 鉄還元細菌がたんぼを肥やす	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 現代農業	6. 最初と最後の頁 88-91
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 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 -

1. 著者名 妹尾啓史	4. 巻 2021年2・3月号
2. 論文標題 水田土壌における窒素固定の新たな役者「鉄還元菌」の発見と低窒素肥料農業への応用	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 作物生産と土づくり	6. 最初と最後の頁 51-55
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 -

〔学会発表〕 計34件（うち招待講演 11件 / うち国際学会 15件）

1. 発表者名 大峽広智、高野諒、増田曜子、伊藤英臣、白鳥豊、妹尾啓史
2. 発表標題 鉄資材を施用した水田における窒素固定活性の上昇と水稻の生育及び収量向上
3. 学会等名 日本土壤肥料学会2020年度岡山大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 増田曜子、石田敬典、山中遥加、Zhenxing Xu、伊藤英臣、白鳥豊、大峽広智、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・検証と鉄・稲わら添加による増強
3. 学会等名 日本土壌肥料学会2020年度岡山大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 増田曜子、石田敬典、伊藤英臣、早川智恵、白鳥豊、妹尾啓史
2. 発表標題 水田土壌の鉄還元菌窒素固定の増強 - 稲わらと鉄添加の効果
3. 学会等名 日本土壌微生物学会2020年度大会
4. 発表年 2020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) (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 Nanjing Tech University (招待講演) (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 Y. Masuda, H. Yamanaka, H. Itoh, Y. Shiratori, S. Amachi, T. Aono, K. 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 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 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 鈴木里俊、早川智恵、増田曜子、西澤智康、菅原雅之、嵐田遥、南澤究、磯部一夫、○妹尾啓史
2. 発表標題 窒素固定遺伝子を有する脱窒細菌によるN ₂ O固定の検証
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 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 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（静岡大会）
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（静岡大会）
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（静岡大会）（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鈴木里俊、早川智恵、増田曜子、西澤智康、菅原雅之、嵐田 遥、南澤 究、磯部一夫、○妹尾啓史
2. 発表標題 窒素固定能を有する脱窒細菌による N ₂ O 固定
3. 学会等名 日本土壌微生物学会 2019 年度大会
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 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 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 Keishi Senoo
2. 発表標題 Microbial drivers of nitrogen transformation in rice paddy soil: Identification, isolation, and application to N2O mitigation
3. 学会等名 Seminar at Jiangsu University (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Keishi Senoo
2. 発表標題 Predominant but previously-unseen prokaryotic drivers of reductive nitrogen transformation in paddy soils, unveiled by metatranscriptomics
3. 学会等名 US-Japan Joint Seminar on Microbial Biotechnology (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yoko Masuda, Hideomi Itoh, Yutaka Shiratori, Keishi Senoo
2. 発表標題 Predominant but previously-overlooked diazotrophs in wetland rice soils, unveiled by metatranscriptomics
3. 学会等名 20th International Congress on Nitrogen Fixation (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 増田曜子、白鳥豊、磯部一夫、大塚重人、妹尾啓史
2. 発表標題 水田土壌オミクス解析から見えた陸域生態系における鉄還元菌の新たな機能 - 還元的窒素変換
3. 学会等名 日本地球惑星連合2017年大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 増田曜子、妹尾啓史、伊藤英臣、白鳥豊
2. 発表標題 水田土壌の鉄還元菌のもう一つの顔：窒素肥沃度を支えるキープレイヤー
3. 学会等名 環境微生物系学会合同大会2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 増田曜子、伊藤英臣、白鳥 豊、石井勝博、磯部一夫、藤村玲子、早川智恵、大塚重人、妹尾啓史
2. 発表標題 水田土壌微生物の優占種、鉄還元菌の窒素肥沃度維持への寄与の可能性 オミクス解析から見えた鉄還元菌が駆動する窒素固定、DNRA、脱窒
3. 学会等名 日本土壌肥料学会2017年度仙台大会
4. 発表年 2017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	早川 智恵 (Hayakawa Chie) (10725526)	宇都宮大学・農学部・助教 (12201)	
研究分担者	豊田 栄 (Toyoda Sakae) (30313357)	東京工業大学・物質理工学院・准教授 (12608)	
研究分担者	磯部 一夫 (Isobe Kazuo) (30621833)	東京大学・大学院農学生命科学研究科(農学部)・助教 (12601)	
研究分担者	服部 祥平 (Hattori Shohei) (70700152)	東京工業大学・物質理工学院・助教 (12608)	
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・研究員 (82626)	

6. 研究組織(つづき)

	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
研究協力者	白鳥 豊 (Shiratori Yutaka)		
研究協力者	石井 勝博 (Ishii Ktsuhiro)		
研究協力者	大峽 広智 (Ohba Hirotomo)		
連携研究者	吉田 尚弘 (Yoshida Naohiro) (60174942)	東京工業大学・物質理工学院・教授 (12608)	

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		
中国	Nanjing Univ Information Sci Technol	Nanjing Tech University	Xi'an University of Technology