

令和 3 年 6 月 21 日現在

機関番号：11601

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H04148

研究課題名(和文) 土壌に強く固定された放射性Csを可溶化・除染する新規生物相関の探索と特性評価

研究課題名(英文) Exploration and characterization of novel biological correlations to solubilize and decontaminate strongly fixed radioactive Cs in soil

研究代表者

横山 正 (Yokoyama, Tadashi)

福島大学・食農学類・特任教授

研究者番号：70313286

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 36,700,000円

研究成果の概要(和文)：福島県農地の放射性Cs(RCs)は年々雲母類に強く固定され、除染しづらくなっている。粘土に強固定されたRCsの可給化とそれを植物-微生物相互作用で除染する方法を試みた。その結果、土壌中のRCsの可溶化は、シュウ酸を分泌する担子菌やクエン酸を分泌する黒麹菌で可能であった。ただ、担子菌の場合はRCsを菌糸へ蓄積し植物への移行を激減させた。黒麹菌が可溶化したRCsはモンスターライスへ溜めることが可能であった。可給化したRCsは、モンスターライスのバイオマス増大に沿って蓄積が進み、これを加速化するには、イネ等の植物と共生する糸状菌が必要で、養分吸収を促進する糸状菌を探索し、複数の候補株を取得した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

低線量放射線による被ばく健康被害が不明瞭な場合は、その不安を取り除く技術開発は必要である。そこで、農地に強固定されたRCsを植物-微生物相互作用で除けるか検証し、担子菌はRCsを菌糸に強固定し環境中の可溶化したRCs量は低下させるがそれを土壌から取り除く必要がある。黒麹菌はそのクエン酸生成能で土壌中のRCsを可溶化できることが分かった。またモンスターライスはバイオマスを増大させることで土壌中のRCsを取り込むことが分かった。また、イネと連結して養分吸収を加速化させる糸状菌も選抜できた。この糸状菌に関しては、イネやトマトの生育促進を誘導するため、化学肥料を削減する農業への展開が可能と思われる。

研究成果の概要(英文)：Radioactive Cs (RCs) in Fukushima agricultural land are strongly fixed to mica year by year, making it difficult to decontaminate. We attempted to solubilize RCs strongly immobilized on clay and decontaminate them by plant-microbial interaction. As a result, solubilization of RCs in soil was possible with basidiomycetes that secrete oxalic acid and *Aspergillus niger* that secrete citric acid. However, in the case of basidiomycetes, RCs were accumulated in the hyphae and the transfer to plants was drastically reduced. RCs in which *Aspergillus niger* was solubilized could be stored in monster rice. The RCs accumulated in monster rice were correlated with the biomass of monster rice. To accelerate this, filamentous fungi that coexist with plants such as rice are required. Therefore, we searched for filamentous fungi that promote nutrient absorption and obtained a plurality of candidate strains.

研究分野：土壌肥料学

キーワード：放射性Csの可給化 生物相関 除染 植物-微生物相互作用 黒麹菌 糸状菌 カリウム溶解菌 モンスターライス

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

本研究の学術的背景 (福島県の農地からの放射性 Cs 除染技術開発の経緯)

2011年3月11日に起きた東日本大震災により、福島第一原子力発電所で原子力事故が発生し、福島県を中心に広大な農地と山林が、放射性 Cs により汚染された。事故直後から農林水産省は、「ふるさとへの帰還に向けた取り組み」農地土壌除染技術開発を開始し、その一環で、チェルノブイリ原発事故汚染地域で効果が高いと報告されていたヒマワリやアマランサスを用いた植物除染試験を福島県飯舘村や川俣町で開始した(右写真)。しかし、ヒマワリ収穫物1Kg中の放射性 Cs 吸収量は、作付け時土壌1kg中の放射性 Cs 含量の2千分の1と低く、農林水産省は2011年9月14日に、ヒマワリは放射性 Cs の除染に対して効果がないと結論し、翌日新聞等で報道された。また福島県では、様々な植物の放射性 Cs 移行係数(TF 値)(植物が吸収した放射性 Cs 量/土壌中の放射性 Cs 量)が低いことが分かり(J.Plant Res. 127: No.1, 2014)、放射性 Cs の植物を用いた除染研究への関心は急速に高まり、農地除染は、物理的な表層土壌のはぎ取り法が主流になった。さらに、福島県では放射性 Cs が年々雲母に固定され、植物が吸収しづらくなっている(J Environ.Radioact.138:11-18.2014)。



研究課題の核心をなす学術的「問い」

上記のヒマワリは深根性で、放射性 Cs が蓄積した表層に根の発達が少ない。申請者は、表層に根を発達させるコマツナ類に発根促進微生物を接種し、植物への Cs の移行程度を調べ、ヒマワリで試算した TF 値 0.0005 より、火山灰土壌では TF 値を約 940 倍上昇させた。一方、福島県の主要土壌である褐色森林土の場合、雲母類が放射性 Cs を強く固定し、TF 値は 120 倍であった(既往論文：①J.Plant Res.127:585-597.2014,②Journal of Environ. Radioact.140:148-155. 2015,③J.Plant Res.128:147-159.2015,④Science of the Total Environment 521-522: 261-269.2015)。そこで、有機酸を産生し粘土の構造を破壊してカリウムを可溶化するカリウム溶解菌を土壌に接種し TF 値の変化を検討し、植物体の地上部や根の TF 値を無処理に比較して大きく増大させる菌株を見出した。一方、事故前の富士山麓のキノコ類(担子菌)の TF 値が植物より 100~1000 倍も高く(J. Food Hyg. Soc. Japan 35:13-22.1993)、また事故後、福島県川内村で 22 種 154 個のキノコが探索され、コムラサキシメジに 15,000Bq/Kg の放射性 Cs の蓄積が見出された(PeerJ, DOI 10.7717/peerj. 1427, 2015)。キノコ類の多くはシュウ酸等を菌体外に分泌することが知られており、土壌に固定された放射性 Cs をシュウ酸で可溶化し、土壌中に形成した微細な菌糸ネットで効率的に捕らえることが示唆される。また、申請者はダイズに AM 菌を接種すると、放射性 Cs の根への蓄積が無接種より 2 倍以上に増加することを見出した(Soil Microorganisms 71: 49-63. 2017)。「植物に土壌微生物が持つ有用機能を連結できれば、福島県の農地からの放射性 Cs 除染は、生物相関の利用で可能ではないのか？」が学問的な「問い」である。

2. 研究の目的

福島県の立ち入り制限地域以外の農地や、除染が完了した農地も、放射性 Cs は存在し、農業者は、農作業中は低線量放射線による被曝を受け続ける。低線量放射線による被ばくに関しては、リスク評価の科学的知見が少なく、その危険性を正確に把握できない(J. Natl. Inst. Public. Health 62: 189-195 2013)。このような場合は、放射性 Cs の除染技術開発は必要である。

そこで、①「土壌に強固定された放射性 Cs を可溶化する系」、②「菌糸ネットで可溶化した放射性 Cs を回収し輸送するシステム」、③「菌糸輸送システムと連結し放射性 Cs を集積する植物系」の 3 種の生物相関で、農地の効果的な除染技術構築が可能か検証する。

学術的独自性

植物-微生物を用いた除染も独自性があったが、異なる生物相関を連結し、土壌の放射性 Cs を微生物で可溶化し菌糸ネットで植物へ集積除染する技術は世界にない。

創造性

植物系と連結できる有益な担子菌／糸状菌物質輸送系が見つければ、放射性 Cs 以外の作物への養分輸送に関して、新規の研究分野の創設とその展開が期待できる。

本研究で何をどのように、どこまで明らかにしようとするのか

- ① クエン酸を大量に産生する黒麹菌類、シュウ酸産生担子菌、カリウム溶解細菌等を探索利用する。一部の菌株は既に保有しておりその利用検証から開始し、有機酸産生能と放射性 Cs 可溶化能を評価する。
- ② 植物に菌糸をどう連結させるかが、研究のポイントになる。植物材料は土壌酸性にも耐性があり菌根共生が確認されているイネを用い、特に根や地上部の生育量が大きい農工大が開発している飼料イネ系統を用いる。土壌中の放射性 Cs 可溶化環境は pH が酸性になる可能性があり、その様な環境でイネとの連結可能な菌根菌を探索する。また、放射性 Cs 吸収が高い担子菌で連結可能な菌種の探索も試みる。
- ③ 放射性 Cs 可溶化とその輸送微生物を接種した土壌中での作用性の検討、これら微生物と植物の連結法等を実験室レベルの試験で検証後、福島での実証試験（ポット規模試験）を行う。

3. 研究の方法

中課題 1：福島のような寒冷地でも生育が可能で、強い有機酸発酵特性を有する黒麹菌を探索と特性調査

小課題 1：菌体外クエン酸産生量を指標とした黒麹菌を探索する

中課題 2：土壌粘土に強く固定された放射性 Cs を可溶化する担子菌の探索と特性調査

小課題 2：シュウ酸合成能力が高いと考えられている褐色腐朽菌を対象として、 γ 線照射による変異導入により、シュウ酸合成力の高い変異株を取得する

小課題 3：担子菌を含む腐菌床を土壌に蒔いた場合の植物への影響を調査する

中課題 3：土壌粘土に強く固定した放射性 Cs 可溶化細菌類の探索と特性調査・接種試験評価

小課題 4：福島で栽培しているモンスターライス系統の植物体・土壌、及びベネズエラやアフガン土壌からエンドファイトのリン・カリウム溶解菌を単離する

小課題 5：異なる福島土壌にモンスターライスを栽培し、リン・カリウム溶解菌を接種して放射性 Cs の植物体への移行を評価する、また接種法を検討する

中課題 4：「菌糸ネットで可溶化した放射性 Cs を回収し輸送するシステム」と「菌糸輸送システムと連結し放射性 Cs を集積する植物系の構築」ための糸状菌の単離と特性解明

小課題 6：強酸性農耕地土壌である東京農工大 FS センターのブルーベリー園土壌から単離した菌類について、接種が植物の生育に与える影響と、in vitro における難溶性リン酸の可給化能の調査

小課題 7：福島の山岳地帯の酸性土壌から、酸性化で生育が可能なイネ類に共生可能な細菌や糸状菌を探索する。

中課題 5：「放射性 Cs 可溶化・輸送システム・植物との連結」に関する生物相関の作用性の確認と現地実証

小課題 8：黒麹菌と担子菌を用いた放射性 Cs 可溶化試験

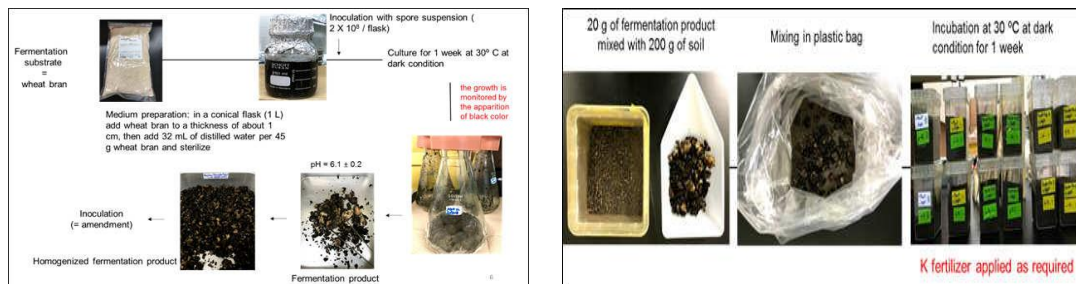


Figure 1: 黒麹菌を用いた接種試験

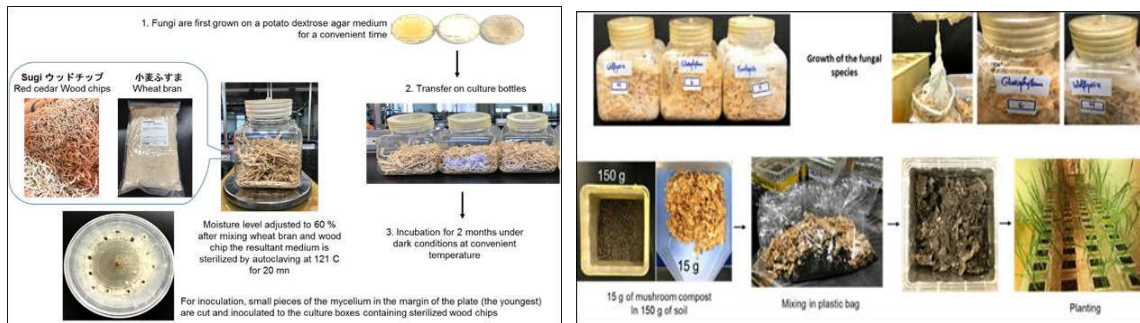


Figure 2: 担子菌を用いた接種試験

小課題 9 : 7 種の *Aspergillus* strains を用いた、二本松市と府中市での「放射性 Cs 可溶化・輸送システム・植物との連結に関する生物相関の作用性の確認と現地実証ポット試験 (右写真)

4. 研究成果

中課題 1 : 福島のような寒冷地でも生育が可能で、強い有機酸発酵特性を有する黒麹菌を探索と特性調査

小課題 1 : 菌体外クエン酸産生量を指標とした黒麹菌の探索

福島の気候を考え、低温でも生育し、酸生産できる株の探索と順化を行った。最終的に 1 株を候補株とした。また、この候補株のクエン酸生産に関係する遺伝子の転写を経時的に測定したところ、候補株はクエン酸合成酵素の転写が時間経過を減ると上昇することが示され、選択した候補株が、持続的に酸生成が可能な株であることが示唆された。



中課題 2 : 土壤粘土に強く固定された放射性 Cs を可溶化する担子菌の探索と特性調査

小課題 2 : シュウ酸合成能力が高いと考えられている褐色腐朽菌を対象として、γ線照射による変異導入により、シュウ酸合成力の高い変異株を取得

ガンマ線を照射した *F. pinicola* 変異株に関して、培養 9 日目にシュウ酸濃度を測定したところ、コントロール (ガンマ線照射なし) と比較して細胞外シュウ酸濃度が大きく変化した変異株を見出した。SDS-PAGE により細胞内タンパク質の生産パターンの調査からシュウ酸の代謝経路に変化が生じた可能性が示唆された。

小課題 3 : 担子菌を含む廃菌床を土壤に蒔いた場合の植物への影響の調査

廃菌床混合培土と非混合培土におけるトマトの根の RNA-seq 解析により、1400 を超える遺伝子が発現変動した、廃菌床を土壤に蒔いた場合に植物に悪影響を及ぼすことなく、むしろ病害抵抗性をあげる可能性があると考えられた。

中課題 3 : 土壤粘土に強く固定した放射性 Cs 可溶化細菌類の探索と特性調査・接種試験評価

小課題 4 : 福島で栽培しているモンスターライス系統の植物体・土壤、及びベネズエラやアフガン土壤からエンドファイトのリン・カリウム溶解菌を単離する

全部で 75 株を単離し、そのうちの 6 株は土壤中に可給態の放射性 Cs 濃度を明瞭に増加させた。そのほか、ベネズエラ、アフガン、南西諸島の土壤微生物のリン・カリウム溶解能を調べた結果、有効な菌株を見いだした。

小課題 5 : 異なる福島土壤にモンスターライスを栽培し、リン・カリウム溶解菌を接種して放射性 Cs の植物体への移行を評価する、また接種法を検討する

選抜した 3 株のうち 1 株は明瞭に土壤交換性セシウムの濃度を増大させた。一方、これら菌株の接種は、モンスターライスの根部における放射性 Cs 量を増大させた。モンスターライス種子に菌を含んだ資材で被覆すると、直播でも接種効果が発現した。

中課題 4 : 「菌系ネットで可溶化した放射性 Cs を回収し輸送するシステム」と「菌系輸送システムと連結し放射性 Cs を集積する植物系の構築」ための糸状菌の単離と特性解明

小課題 6 : 強酸性農耕地土壤である東京農工大 FS センターのブルーベリー園土

壤から単離した菌類について、接種が植物の生育に与える影響と、*in vitro*における難溶性リン酸の可給化能の調査（難溶性リン酸を可吸化できる菌類は、土壤に強固定された放射性 Cs を可用化する可能性を有する）

東京農工大 FS センターのブルーベリー園土壤から単離した 32 種類の菌類は、2 種類はケカビ亜門 *Umbelopsis* 属に、その他は子囊菌門に分類される菌類であった。A08、C12、D06、E04、E05 をトマトに接種した実験区においては共生がみられ、地上部新鮮・乾物重および地下部新鮮重が有意に増加した。したがって、これら 5 種類の菌類は内生菌であり、供試植物と共生することによって、供試植物の地上部および地下部の生育を促進したことが示唆された。また、D06 はクエン酸分泌能を有していた。

小課題 7: 福島山岳地帯の酸性土壤から、酸性化で生育が可能なイネ類に共生可能な細菌や糸状菌を探索する。

バクテリアが 320 株、糸状菌が 66 株を単離した。単離したコロニー数では細菌が多数を占めた。低 pH や高 pH 及び耐塩性活性を示す株は細菌は 5%、糸状菌は 24% 株前後の出現頻度となり、環境ストレス耐性を有する糸状菌の出現頻度が高いことが分かった。また、リン溶解活性は、細菌は 10 株（約 3%）であったが、糸状菌では 3 株（4.8%）で糸状菌の出現頻度がわずかに高かった。一方、カリウム溶解活性は、細菌では約 3% 存在するが、糸状菌ではその活性を有するものがなかった。単離した細菌株のうち、Positive control のバイオ肥料「ゆめバイオ」として製品化されている TUAT1 株と同じかそれより新鮮地上部重と根重が増加した株はテストした 320 株中 10-10、10-7、11-1、11-14、11-2、13-14、13-15、5-23 であり、2.5% の存在率であった。単離した糸状菌株のうち、Negative control の無接種区と同じかそれより新鮮地上部重と根重が増加した株をそれぞれ図 5 に示した。地上部重と根重が無接種区と同等かそれ以上の促進活性を有する株はテストした 62 株中 6、9、10、13、16、17、19、28、35、36、39、44、58、59 であり、23% の存在率であった。細菌より高い頻度でイネの生育を促進する糸状菌が採取できた。

中課題 5: 「放射性 Cs 可溶化・輸送システム・植物との連結」に関する生物相関の作用性の確認と現地実証

小課題 8: 黒麹菌と担子菌を土壤に施用したときに、イネの放射性 Cs の取り込みはどのように変化するのか

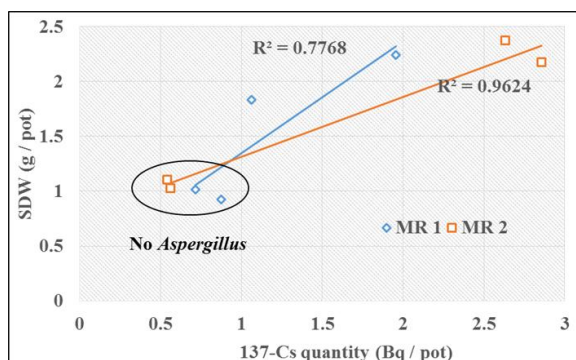


Fig.3 黒麹菌とイネへの Cs 移行量

黒麹菌の土壤への投入量を増やすと、モンスターライスへの放射性 Cs の蓄積が増大することが分かった (Fig.3)。一方、担子菌の場合、植物への放射性 Cs の移行は明瞭に減少し、担子菌が菌糸内に放射性 Cs を蓄積することが分かった (Fig.4)。

小課題 9: 性質が異なる 2 種の福島土壤に 7 種の *Aspergillus* 株を施用したときのイネへの放射性 Cs の取り込み試験 (ポット試験)

月舘土壤では、モンスターライスへの放射性 Cs の取り込みが明瞭に増加した。一方、富岡土壤では、黒麹菌 RIB 2641 株を除き、全ての植物の地上部への放射性 Cs の取り込みが増加した。この増加は、*A. saitoi* 株と *A. luchuensis* RIB 2503 株で有意に増加した。

以上により、カリウム溶解菌や黒麹菌を土壤に施用し、粘土に強く固定化された放射性 Cs が可溶化できること、モンスターライスの場合、上記の微生物接種下でモンスターライスのバイオマスを増大させることで植物体への放射性 Cs の移行量が増大できること。また、今回は試験が出来なかったが、同時に本研究で単離した植物生育促進糸状菌を接種することで、さらに放射性 Cs の移行量が増加させられる可能性が推定された。

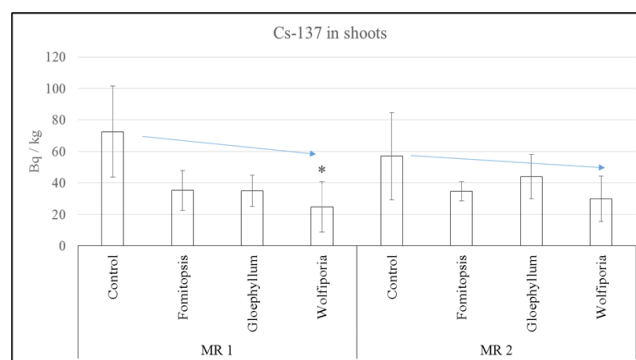


Fig.4 担子菌による放射性 Cs の蓄積

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 11件／うち国際共著 7件／うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 Kiwamu Umezawa, Mai Niikura, Yuka Kojima, Barry Goodell, Makoto Yoshida	4. 巻 15
2. 論文標題 Transcriptome analysis of the brown rot fungus <i>Gloeophyllum trabeum</i> during lignocellulose degradation.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 PLoS ONE	6. 最初と最後の頁 e0243984
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1371/journal.pone.0243984.	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 Takashi Baba, Dai Hirose and Takuya Ban.	4. 巻 15
2. 論文標題 In vitro inoculation effects and colonization pattern of <i>Leohumicola verrucosa</i> , <i>Oidiodendron maius</i> , and <i>Leptobacillium leptobactrum</i> on fibrous and pioneer roots of <i>Vaccinium oldhamii</i> hypocotyl cuttings.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Plant Root.	6. 最初と最後の頁 1 - 9
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3117/plantroot.15.1	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 Takashi Baba, Dai Hirose, Satoshi Noma and Takuya Ban.	4. 巻 Inpress
2. 論文標題 Inoculation with two <i>Oidiodendron maius</i> strains differentially alters the morphological characteristics of fibrous and pioneer roots of <i>Vaccinium virgatum</i> 'Tifblue' cuttings.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientia Horticulturae.	6. 最初と最後の頁 Inpress
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.scienta.2021.109948	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 María Daniela Artigas Ramírez, Mingrelia España, Sylwia Lewandowska, Kun Yuan, Shin Okazaki, Naoko Ohkama-Ohtsu, Tadashi Yokoyama	4. 巻 35
2. 論文標題 Phylogenetic Analysis of Symbiotic Bacteria Associated with Two <i>Vigna</i> Species under Different Agro-Ecological Conditions in Venezuela	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Microbe and Environments	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） 10.1264/jsme2.ME19120	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 Safiullah Habibi, Salem Djedidi, Naoko Ohkama-Ohtsu, Wakil Ahmad Sarhadi, Katsuhiko Kojima, Roland V. Rallos, Maria Daniela Artigas Ramirez, Hiroko Yamaya, Hitoshi Sekimoto, Tadashi Yokoyama	4. 巻 34
2. 論文標題 Isolation and Screening of Indigenous Plant Growth-promoting Rhizobacteria from Different Rice Cultivars in Afghanistan Soils	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Microbes and Environments	6. 最初と最後の頁 347-355
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1264/j sme2.ME18168	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 María Daniela Artigas Ramírez, Mingrelia España, Claudia Aguirre, Katsuhiko Kojima, Naoko Ohkama-Ohtsu, Hitoshi Sekimoto, and Tadashi Yokoyama	4. 巻 34
2. 論文標題 Burkholderia and Paraburkholderia are the predominant soybean rhizobial genera in Venezuelan soils in different climatic and topographical regions.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Microbes and Environments	6. 最初と最後の頁 43-58
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1264/j sme2.ME18076	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 Khin Thuzar Win, Keiki Okazaki, Taiichiro Ookawa, Tadashi Yokoyama, Yoshinari Ohwaki.	4. 巻 14
2. 論文標題 Influence of rice-husk biochar and Bacillus pumilus strain TUAT-1 on yield, biomass production, and nutrient uptake in two forage rice genotypes	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 PloS one.	6. 最初と最後の頁 1-21
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1371/journal.pone.0220236	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 Md Firoz Mortuza, Norihiko Tomooka, Safiullah Habibi, Tetsuya Akatsu, Salem Djedidi, Ken Naito, Hitoshi Sekimoto, Shin Okazaki, Naoko Ohkama-Ohtsu and Tadashi Yokoyama	4. 巻 66
2. 論文標題 Multiphase characterization of wild Vigna associated root nodule bacteria from Japanese subtropical islands unveiled novel high temperature resistant Bradyrhizobium strains having high symbiotic affinity with soybean and mungbean.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Soil Science and Plant Nutrition	6. 最初と最後の頁 285-298
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/00380768.2020.1738192	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 Khin Thuzar Win , Keiki Okazaki, Taiichiro Ookawa, Tadashi Yokoyama, Yoshinari Ohwaki	4. 巻 67
2. 論文標題 Effects of biochar and TUAT-1 bio-inoculant on grain yield and nitrogen efficiency of forage rice 'Monster rice 1' under different N application modes	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Archives of Agronomy and Soil Science	6. 最初と最後の頁 1-15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/03650340.2021.1928089	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 Shin-ichiro Agake, Maria Daniela Artigas Ramirez, Katsuhiko Kojima, Taiichiro Ookawa, Naoko Ohkama-Ohtsu, Tadashi Yokoyama	4. 巻 113
2. 論文標題 Seed coating by biofertilizer containing spores of Bacillus pumilus TUAT1 strain enhanced initial growth of Oryza sativa L	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Agronomy Journal	6. 最初と最後の頁 1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/agj2.20747	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 Roland V. Rallos, Gerald P. Dican, Safiullah Habibi, Djedidi Salem, Naoko Ohkama-Ohtsu, Tadashi Yokoyama	4. 巻 237
2. 論文標題 Influence of potassium-solubilizing bacteria on the growth and radiocesium phyto-transfer of Brassica rapa L. var. perviridis grown in contaminated Fukushima soils	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Environmental Radioactivity	6. 最初と最後の頁 1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jenvrad.2021.106682	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

〔学会発表〕 計7件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 樋口朋花、加藤有紀子、齊藤大幹、小松 健、吉田 誠
2. 発表標題 ナメコ廃菌床混合土壌において栽培したトマトのトランスクリプトーム解析
3. 学会等名 第70回日本木材学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 福田大貴、齊藤大幹、竹原美樹、小松健、吉田誠
2. 発表標題 ナメコ廃菌床を用いたトマトにおける病害抵抗性の誘導
3. 学会等名 第69回日本木材学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 樋口朋花、吉田 誠
2. 発表標題 褐色腐朽菌へのガンマ線照射によるシュウ酸生成能の改変
3. 学会等名 日本木材保存協会第35回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Salem Djedidi, Marcela Caetano Lopes, Davilla Alessandra Da Silva Alves, Makoto Yoshida, Yohei Yamagata, Takuya Ban, Taiichiro Ookawa, Naoko Ohkama-Ohtsu, Tadashi Yokoyama
2. 発表標題 Wood-rotting Basidiomycetes fungi and Aspergillus-derived biological amendments differently influenced radiocesium transfer to rice plant
3. 学会等名 5th Asian Conference on Plant-Microbe Symbiosis and Nitrogen Fixation, Japanese Society of Plant Microbe Interactions (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 曾根佑介, Salem Djedidi, 山形洋平, 吉田誠, 伴琢也, 大津直子, 横山正
2. 発表標題 カリウム、リン溶解菌の土壌への接種がイネのセシウム吸収に与える影響
3. 学会等名 日本土壌肥料学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 横山 正, 安掛 真一郎, 大津 直子, 山田 哲也, 大川 泰一郎, 大脇 良成, 菅野 拓朗, 渡邊 滉士, 三本菅 猛, 齋藤 隆, 梅津 輝, 小島 克洋, 見城 貴志, 浅野 智孝
2. 発表標題 福島県浜地域におけるモンスターライスの栽培の試みとその直播栽培イネへのバイオ肥料の施用技術について
3. 学会等名 2020年日本土壌肥料学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 安掛 真一郎, 小島 克洋, 大脇 良成, 前田 真澄, Salem Djedidi, 大川 泰一郎, 大津 直子, 横山 正
2. 発表標題 福島県二本松市におけるモンスターライス系統の移植栽培に対するパチルス属バイオ肥料の施用効果の評価
3. 学会等名 2020年日本土壌肥料学会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 横山 正	4. 発行年 2018年
2. 出版社 コモンズ	5. 総ページ数 307
3. 書名 第7章：安心できる営農技術の組み立てを目指して 「菅野正寿・原田直樹編著 農と土のある暮らしを次世代へ 原発事故からの農村の再生」	

〔産業財産権〕

〔その他〕

http://web.tuat.ac.jp/~biof-pro/sub5.html

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	伴 琢也 (Ban Takuya) (20325046)	東京農工大学・農学部・准教授 (12605)	
研究分担者	吉田 誠 (Yoshida Makoto) (30447510)	東京農工大学・(連合)農学研究科(研究院)・教授 (12605)	
研究分担者	山形 洋平 (Yamagata Yohei) (40230338)	東京農工大学・(連合)農学研究科(研究院)・教授 (12605)	
研究分担者	大津 直子 (Ohtsu Naoko) (40513437)	東京農工大学・(連合)農学研究科(研究院)・教授 (12605)	

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