

令和 5 年 6 月 13 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2017～2020

課題番号：17H03784

研究課題名（和文）表面分析法による菌根における炭素・窒素・水素の細胞輸送と循環解析

研究課題名（英文）Surface analytical study of Carbon, nitrogen, and hydrogen cellular transfers and cycling in mycorrhizal symbioses.

研究代表者

久我 ゆかり (Kuga, Yukari)

広島大学・統合生命科学研究科（総）・教授

研究者番号：30232747

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,100,000円

研究成果の概要（和文）：菌根共生における生体元素の輸送と環境との循環を細胞小器官レベルで明らかにした。同位体顕微鏡（SIMS）のクライオ化およびTOF-SIMSによる同位体標識分子の推定法を確立し、高圧凍結した菌根のクライオ走査型電子顕微鏡観察に成功した。同位体比SIMSイメージング-電子顕微鏡像相関解析により、¹³C¹⁸O₂を植物に与え、¹³Cの植物から菌根菌、さらに菌根菌内生細菌2種への分配、および菌根共生変異体から菌根菌への輸送の有無を明らかにした。ラン科共生プロトコームにおける¹³C、¹⁵N、³⁴Sの局在と遺伝子発現の解析から、硫黄は還元型有機物として宿主細胞に輸送される可能性を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で確立した安定同位体比の局在による細胞構造機能の研究例は世界的に少なく、また多細胞生物における無処理の微細構造観察や、クライオ組織を用いたSIMSは世界最先端の挑戦である。TOF-SIMSデータからの有用情報抽出法の検討は、メタデータを扱う情報科学における課題である。さらにこれら手法と、遺伝子発現、変異体等を組み合わせ、多角的に解析を行った本研究の成果は、植物-真菌-菌根共生機能の理解の深化はもとより、新規の生物・細胞機能研究法の確立に貢献した。

研究成果の概要（英文）：This study analyzed cellular transport and environmental cycling of biological elements in the mycorrhizal symbioses. We established a cryo-SIMS system and a searching method for significant molecules from TOF-SIMS data and succeeded in cryo-SEM observation of high-pressure frozen mycorrhizal tissues. Correlative SIMS and electron microscopy were used to analyze the ¹³C flow added as ¹³C¹⁸O₂ to the plants through the fungus to two mycorrhizal fungal endobacteria and to analyze the ability of the ¹³C labelled molecule transfer from the mutant plants to a colonizing arbuscular mycorrhizal fungus. In addition, sulphur transfer from the symbiotic fungus to the orchid protocorm was analyzed by SIMS imaging of simultaneous labellings of ¹³C, ¹⁵N, and ³⁴S. Combined with plant and fungal transcriptome analyses, sulphur was suggested to transfer as the reduced organic form to the host plant.

研究分野：菌根学、植物病理学、顕微鏡学、土壤生物学

キーワード：菌根共生 元素輸送 電子顕微鏡 - 二次イオン質量分析相関解析 クライオ走査型電子顕微鏡 真菌内生細菌 飛行時間型二次イオン質量分析法 遺伝子発現解析

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

菌根は植物の根と糸状菌(菌根菌)からなり、植物の光合成産物と菌根菌の無機養分が交換される相利共生器官である。菌根は根の拡張器官として養分および重金属・放射性物質等有害元素等の輸送機構の解明は中心的課題である。

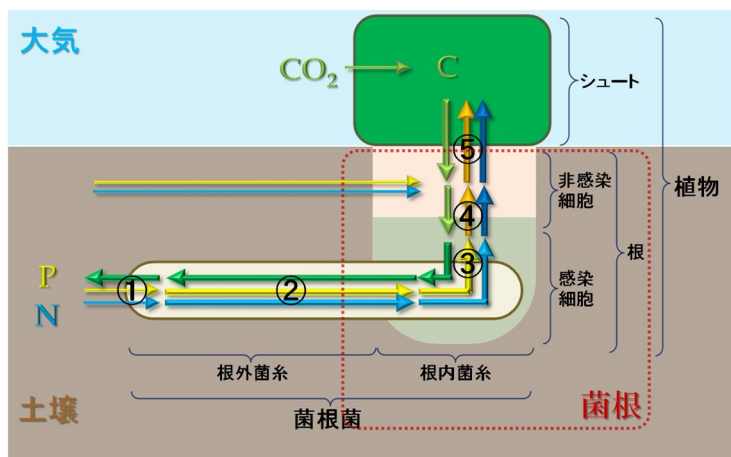


図1 菌糸圏における元素の流れ
 土壌由来の元素の輸送は、土壌から根外菌糸、根外菌糸から根内菌糸、感染菌糸から宿主細胞、感染細胞から非感染細胞、植物組織内長距離輸送の5つの区画からなる。植物からの炭素はの向きに流れる。

菌根における物質輸送は、土壌における菌糸(外生菌糸)の細胞膜輸送(図1)、外生菌糸内長距離輸送(図1)、根の中の菌糸(内生菌糸)と植物の両細胞膜を介した輸送(図1)および植物組織内長距離輸送(図1)の大きく4つの区分に分けて考えられる。従来物質輸送研究はこれらの区分で輸送タンパク等に関わる遺伝子探索・発現解析、生化学的手法(Pfeffer *et al.* 1999; Bago *et al.* 2000)などから行われてきた。AM菌は絶対共生であることなど材料としての制約が大きく遺伝子解析は難航し、近年AM菌(Tisserant, *et al.* 2013)およびAM菌の絶対共生内生細菌(Ghignone, *et al.* 2012)のゲノム解析、またランの共生プロトコームにおける遺伝子発現解析(Perotto, *et al.* 2014)等報告され、理解が進みつつある。一方動く物質の研究は、軽元素かつ低濃度であることなどから方法論が限られ、放射性同位体トレーサーあるいは抽出物質のNMR等生化学的手法により行われ、受け渡しに関わる化合物や場所について、近年の遺伝子情報と組み合わせられて推定されている。研究代表者はこれまで様々な表面分析法を用い、解剖学的手法により宿主と菌根菌が共存する場の解析を行ってきた(EF-TEM、免疫ラベル透過型電子顕微鏡によるAMF内ポリリン酸輸送(Kuga *et al.* 2008)、放射光マイクロビーム(SPring-8)によるAMFによるカドミウム輸送(Nayuki *et al.* 2014など)。近年は、主に宇宙科学などの分野で用いられてきた安定同位体を高感度に検出し、かつ高空間分解能を有する二次イオン質量分析法(SIMS)を取り入れ、菌根における生体元素輸送の可視化に取り組んできた(Kuga *et al.* 2014)。この研究ではランの共生プロトコーム(生育中の胚)における共生菌から宿主への養分供給の機作について歴史的に対立する仮説(生きている菌糸からか、死ぬプロセスか)を検証し、それぞれが一部正しいと結論づけた(図2)。この研究では共生菌から植物に渡された¹³Cと¹⁵Nが隣り合う植物細胞間で異なる局在を示すなど、全く新規の細胞機能が示され、生物学における本アプローチの有用性が示されている。

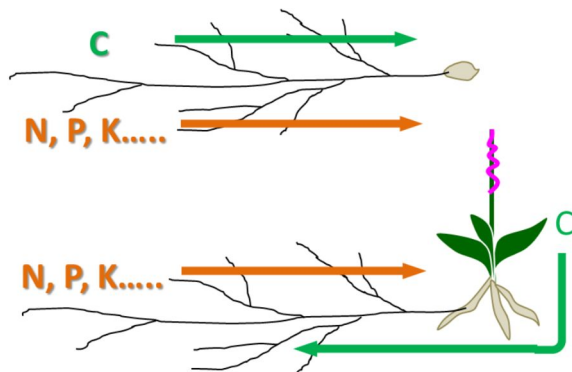


図2 ラン科共生

種子は胚と種皮のみからなる。種子の発芽は、炭素を含むすべての養分を共生菌に依存している。(プロトコーム期)。その後、緑色ランは葉と根を発達させて独立栄養期に移行する。したがって、炭素の流れはプロトコーム期と独立栄養期で逆転する。

2. 研究の目的

本研究は、植物と真菌の共生である菌根において、炭素、窒素、水素の共生者間・組織内輸送および環境(気相)との循環を、細胞小器官レベルでの局在解析手法を中心に明らかにすることを目的とした。安定同位体トレーサーを二次イオン質量分析法(SIMS)により局在解析するアプローチに、凍結法、多重元素ラベル、GS-MS、ラマン顕微鏡、TOF-SIMSなどを組みこみ、方法論の確立とともに生体元素の分子同定に挑戦した。これらの情報を遺伝子発現解析と接続させ、細胞・共生機能の解明を目指した。

3. 研究の方法

(1) 菌根における炭素、窒素、水素の共生組織内輸送

ラベル法の構築：植物への CO_2 ガスおよび窒素化合物による菌根菌のみへの標識を可能にするため、アーバスキュラー菌根植物の標識チャンバーを構築した。

凍結 SIMS 法の構築：水の解析には凍結法が必須である。クライオ測定を可能にするため SIMS (IMS1270) の極低温クライオステージ化を行った。凍結試料作製法の検討では、通常の凍結では水の結晶化による細胞破壊、微細構造の取得、導電性の付与、極低温による機器間トランスファーについて検討を行った。同位体の微細構造レベルの局在解析には構造情報が必須である。凍結試料では微細構造情報取得が困難であり、検討した。

樹脂法：安定同位体標識菌根あるいは共生プロトコームを化学固定あるいは高圧凍結固定し、脱水後、樹脂包埋した。樹脂切片により、同位体局在を SIMS イメージング法により解析した。超薄切片を用いた TEM-SIMS 相関解析、SIMS-走査型電子顕微鏡 (SEM) 相関解析を行った。

(2) 同位体分子情報

植物体 / 菌糸体貯蔵物質の解析：(1) と同様の同位体標識菌根植物の樹脂切片を用い、光学顕微鏡 (LM) - TOF-SIMS 相関解析法を構築した。

輸送物質の解析：アーバスキュラー菌根植物共培養法によりペチュニアの菌根共生変異体に菌根菌を定着させ、 $^{13}\text{CO}_2$ で標識後、SIMS-SEM 相関解析を行った。

(3) 物質輸送と循環

遺伝子発現解析：共生プロトコームの外生菌糸に安定同位体 (^{13}C -グルコース、 ^{15}N 塩化アンモニウム、 ^{34}S 硫化マグネシウム、 D_2O) を添加し、樹脂切片を用いて各同位体の局在を SIMS 法で解析した。また、感染・非感染植物および共生菌の硫黄輸送関連の遺伝子発現解析を行った。

元素循環：植物 - AMF - AMF 内生細菌 2 種について、 CO_2 由来の ^{13}C の分配を解析した。

4. 研究成果

(1) 菌根における炭素、窒素、水素の共生組織内輸送

ラベル法の構築：ネギ、コーニングチューブ、ナイロンメッシュ、PET バイアル、セプタム、および試験官等を用いることにより、標識中の CO_2 の透過が少なく、菌糸圏区の作成に成功した。これにより、経時的な標識実験、標識率測定が可能になった (図 3)。

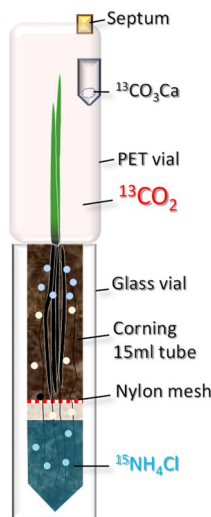


図 3 ネギを用いたアーバスキュラー菌根植物用多重標識チャンバー

15ml チューブを切断し 37 μm メッシュ、海砂により菌糸区を作成し菌根菌を接種し、植物体を育成する。菌糸体への窒素等のラベルは、菌糸区に作成した穴から注射器で注入する。上部下部容器の組立後プチル系シーリング材で密閉する、ガス透過度の低い容器上部に設置したセプタムから注射器で酸を注入し、 CO_2 ガスを発生させる。

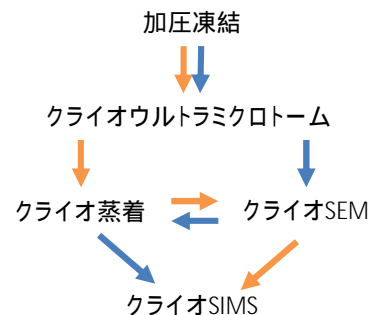


図 4 非晶質凍結試料を用いたクライオ SEM クライオ SIMS 相関解析の流れ

ステップ間は極低温での輸送を要する。

凍結 SIMS 法の構築：SIMS (北海道大学同位体顕微鏡 IMS1270) の極低温クライオステージ化を達成した。凍結試料からの微細構造情報の取得のため、加圧凍結 クライオウルトラマイクロームによる断面作成 - クライオ SEM 観察 - クライオ蒸着 - クライオ SIMS 法を検討した (図 4)。その結果、加圧凍結菌根における、感染/非感染細胞の液胞および核、細胞間菌糸および樹枝状体、崩壊菌糸塊、菌糸の脂質およびミトコンドリアのクライオ SEM 観察に成功した。

樹脂法 (対照区)：安定同位体標識菌根を化学固定あるいは加圧凍結し、エタノール脱水あるいは凍結置換後樹脂包埋した。超薄切片を用いた TEM-SIMS 相関解析、あるいは 1 μm 厚切片を用いた SIMS-SEM 相関解析により同位体の局在解析を行った。ランの共生プロトコームの植物体外菌糸への ^{13}C -グルコース、 ^{15}N 硝酸アンモニウム、および重水の多重標識に成功し、宿主細胞に渡された重水は、集積の強い順にアミロプラスト、細胞壁、細胞質となった。

(2) 同位体分子情報

植物体 / 菌糸体貯蔵物質の解析：同位体標識した樹脂切片を用い、TBO 染色の LM 像と TOF-SIMS の二次イオン像をイメージフュージョンした。この TOF-SIMS データにスパースモデリングの圧縮センシングの手法の一つである Least Absolute Shrinkage and Selection Operator (LASSO) を適用し、細胞構造に特徴的な二次イオンの抽出に成功した。(図 5、Ito, *et al.* Biointerphases 15, 021010, 2020)

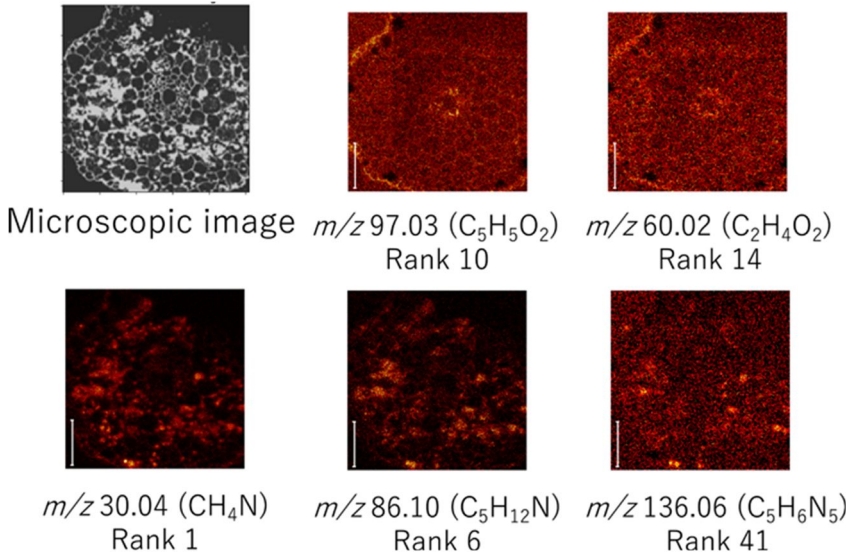


図 5 菌根樹脂切片光学顕微鏡像とのイメージフュージョンデータに LASSO を適用して抽出された TOF-SIMS 二次イオン像

輸送物質の解析：ペチュニアの菌根共生変異体を用い、菌根植物共培養法によりアーバスキュラー菌根菌を定着させ、¹³C₂ で標識後、樹脂切片を用いて SIMS - SEM 相関解析法により、Region of Interest (ROI) 解析を行った。その結果、変異体内に定着している菌糸体 ¹³C/¹²C は天然同位体比に近い一方、感染植物細胞内構造の ¹³C 標識率が上昇した。

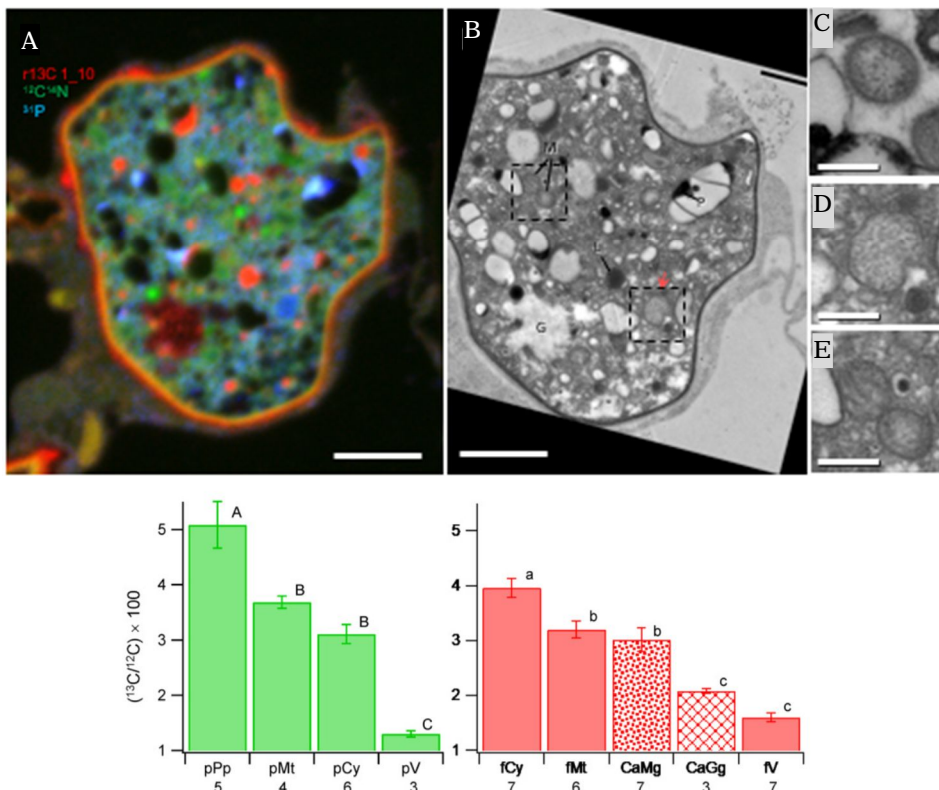


図 6 同位体標識したアーバスキュラー菌根樹脂切片の TEM-SIMS 相関解析

上. A. 植物細胞に定着している菌根菌 *Gigaspora margarita* 菌糸の ¹³C/¹²C (赤)、¹²C¹⁴N (緑)、および ³¹P (青) の重ね合わせ像。B - E. TEM 像。C. 液胞内局在グラム陰性細菌 *Candidatus Glomeribacter gigasporarum* (CaGg)。G. 細胞質中局在グラム陽性細菌 *Candidatus Moenioplasma glomeromycotorum* (CaMg)。H. 真菌ミトコンドリア。

下. 植物細胞内構造 (左) および菌根菌細胞内構造 (右) の ¹³C/¹²C の ROI 分析

(3) 物質輸送と循環

遺伝子発現解析：共生プロトコームの外生菌糸に安定同位体 (^{13}C -グルコース、 ^{15}N 塩化アンモニウム、 ^{34}S 硫化マグネシウム、重水素) を添加し、培養後、樹脂切片とした。SIMS 法でコイル状菌糸 (菌毬) および植物核の同位体比の解析を行った。分裂組織の非感染細胞である分裂組織の核のなかに ^{34}S の集積があり、菌糸からの硫黄分子の輸送が明らかにされた。さらに、 ^{34}S と ^{15}N の間には正の相関があり、感染細胞・感染非細胞および菌糸の硫黄輸送関連の遺伝子発現解析の結果と合わせ、硫黄は有機体として輸送される可能性が示唆された。

元素循環：植物 - AMF - AMF 内生細菌 2 種について、 CO_2 由来の ^{13}C の分配を解析した。その結果、植物オルガネラ - 菌根間の分配は、高い順に菌根菌糸、植物色素体、植物ミトコンドリア、植物細胞質であったが、AMF - AMF 内生バクテリア内では、菌糸細胞質 - 菌ミトコンドリア - グラム陽性細菌 - グラム陰性細菌の順となった。内生細菌は垂直伝染する絶対共生菌である。宿主体内での機能は未知であるが、真の共生オルガネラに比べて低い分配率であったことから、宿主に与える負担が低い可能性が考えられた。(図 6、Kuga, *et al.* Microorganisms 9(12):2597, 2021)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計35件（うち査読付論文 35件／うち国際共著 25件／うちオープンアクセス 17件）

1. 著者名 Zhang Ai-Cheng, Kawasaki Noriyuki, Bao Huiming, Liu Jia, Qin Liping, Kuroda Minami, Gao Jian-Feng, Chen Li-Hui, He Ye, Sakamoto Naoya, Yurimoto Hisayoshi	4. 巻 11
2. 論文標題 Evidence of metasomatism in the interior of Vesta	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nature Communications	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) 10.1038/s41467-020-15049-7	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 Zhang Ai-Cheng, Kawasaki Noriyuki, Kuroda Minami, Li Yang, Wang Hua-Pei, Bai Xue-Ning, Sakamoto Naoya, Yin Qing-Zhu, Yurimoto Hisayoshi	4. 巻 275
2. 論文標題 Unique angrite-like fragments in a CH3 chondrite reveal a new basaltic planetesimal	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Geochimica et Cosmochimica Acta	6. 最初と最後の頁 48 ~ 63
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.gca.2020.02.014	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 Kawasaki Noriyuki, Wada Sohei, Park Changkun, Sakamoto Naoya, Yurimoto Hisayoshi	4. 巻 279
2. 論文標題 Variations in initial 26Al/27Al ratios among fine-grained Ca-Al-rich inclusions from reduced CV chondrites	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Geochimica et Cosmochimica Acta	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) 10.1016/j.gca.2020.03.045	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 Matsuda Nozomi, Sakamoto Naoya, Tachibana Shogo, Yurimoto Hisayoshi	4. 巻 79
2. 論文標題 Heating duration of igneous rim formation on a chondrule in the Northwest Africa 3118 CV3oxA carbonaceous chondrite inferred from micro-scale migration of the oxygen isotopes	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Geochemistry	6. 最初と最後の頁 125524 ~ 125524
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.chemer.2019.07.006	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 Bollard Jean, Kawasaki Noriyuki, Sakamoto Naoya, Olsen Mia, Itoh Shoichi, Larsen Kirsten, Wielandt Daniel, Schiller Martin, Connelly James N., Yurimoto Hisayoshi, Bizzarro Martin	4. 巻 260
2. 論文標題 Combined U-corrected Pb-Pb dating and 26Al-26Mg systematics of individual chondrules - Evidence for a reduced initial abundance of 26Al amongst inner Solar System chondrules	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Geochimica et Cosmochimica Acta	6. 最初と最後の頁 62 ~ 83
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.gca.2019.06.025	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 Takeda Tomoya, Doiyama Sota, Azumi Junya, Shimada Yasuhiro, Tokuji Yoshihiko, Yamaguchi Hiroaki, Nagata Kosuke, Sakamoto Naoya, Aso Hisashi, Nakamura Takashi	4. 巻 9
2. 論文標題 Organogermanium suppresses cell death due to oxidative stress in normal human dermal fibroblasts	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Scientific Reports	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) 10.1038/s41598-019-49883-7	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 Yoshizaki Takashi, Nakashima Daisuke, Nakamura Tomoki, Park Changkun, Sakamoto Naoya, Ishida Hatsumi, Itoh Shoichi	4. 巻 252
2. 論文標題 Nebular history of an ultrarefractory phase bearing CAI from a reduced type CV chondrite	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Geochimica et Cosmochimica Acta	6. 最初と最後の頁 39 ~ 60
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.gca.2019.02.034	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 Sas May, Kawasaki Noriyuki, Sakamoto Naoya, Shane Phil, Zellmer Georg F., Kent Adam J.R., Yurimoto Hisayoshi	4. 巻 513
2. 論文標題 The ion microprobe as a tool for obtaining strontium isotopes in magmatic plagioclase: A case study at Okataina Volcanic Centre, New Zealand	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chemical Geology	6. 最初と最後の頁 153 ~ 166
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.chemgeo.2019.03.016	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 Sun Wei、Yoshino Takashi、Kuroda Minami、Sakamoto Naoya、Yurimoto Hisayoshi	4. 巻 124
2. 論文標題 H D Interdiffusion in Single Crystal Olivine: Implications for Electrical Conductivity in the Upper Mantle	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Solid Earth	6. 最初と最後の頁 5696 ~ 5707
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2019JB017576	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 Kuroda Minami、Tachibana Shogo、Sakamoto Naoya、Yurimoto Hisayoshi	4. 巻 104
2. 論文標題 Fast diffusion path for water in silica glass	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 American Mineralogist	6. 最初と最後の頁 385 ~ 390
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2138/am-2019-6802	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 Kawasaki Noriyuki、Park Changkun、Sakamoto Naoya、Park Sun Young、Kim Hyun Na、Kuroda Minami、Yurimoto Hisayoshi	4. 巻 511
2. 論文標題 Variations in initial 26Al/27Al ratios among fluffy Type A Ca-Al-rich inclusions from reduced CV chondrites	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Earth and Planetary Science Letters	6. 最初と最後の頁 25 ~ 35
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.epsl.2019.01.026	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 Zhang Ai-Cheng、Wang Shu-Zhou、Tomioka Naotaka、Lu Xian-Cai、Ding Zhi-Yuan、Ma Chi、Wang Peng、Chen Jia-Ni、Xu Sheng、Gu Li-Xin、Bai Yuan-Qiang、Li Yang、Sakamoto Naoya、Wang Ru-Cheng	4. 巻 104
2. 論文標題 An example of high-T, high-symmetry crystallization: Spherical (Mg,Fe)-oxides formed by particle attachment in the shocked martian meteorite Northwest Africa 7755	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 American Mineralogist	6. 最初と最後の頁 150 ~ 157
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2138/am-2019-6597	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 Chen Baodong, Nayuki Keiichiro, Kuga Yukari, Zhang Xin, Wu Songlin, Ohtomo Ryo	4. 巻 33
2. 論文標題 Uptake and Intraradical Immobilization of Cadmium by Arbuscular Mycorrhizal Fungi as Revealed by a Stable Isotope Tracer and Synchrotron Radiation μ X-Ray Fluorescence Analysis	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Microbes and Environments	6. 最初と最後の頁 257 ~ 263
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1264/jsme2.ME18010	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 Nakano Akitoshi, Hasegawa Takumi, Tamura Shinya, Katayama Naoyuki, Tsutsui Satoshi, Sawa Hiroshi	4. 巻 98
2. 論文標題 Antiferroelectric distortion with anomalous phonon softening in the excitonic insulator Ta ₂ NiSe ₅	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 045139(1 ~ 6)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.98.045139	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 Fei Hongzhan, Koizumi Sanae, Sakamoto Naoya, Hashiguchi Minako, Yurimoto Hisayoshi, Marquardt Katharina, Miyajima Nobuyoshi, Katsura Tomoo	4. 巻 103
2. 論文標題 Pressure, temperature, water content, and oxygen fugacity dependence of the Mg grain-boundary diffusion coefficient in forsterite	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 American Mineralogist	6. 最初と最後の頁 1354 ~ 1361
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2138/am-2018-6480	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 Kakizawa Sho, Inoue Toru, Nakano Hideto, Kuroda Minami, Sakamoto Naoya, Yurimoto Hisayoshi	4. 巻 103
2. 論文標題 Stability of Al-bearing superhydrous phase B at the mantle transition zone and the uppermost lower mantle	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 American Mineralogist	6. 最初と最後の頁 1221 ~ 1227
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2138/am-2018-6499	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 Lormand Charline, Zellmer Georg F., Nemeth Kiroly, Kilgour Geoff, Mead Stuart, Palmer Alan S., Sakamoto Naoya, Yurimoto Hisayoshi, Moebis Anja	4. 巻 24
2. 論文標題 Weka Trainable Segmentation Plugin in ImageJ: A Semi-Automatic Tool Applied to Crystal Size Distributions of Microlites in Volcanic Rocks	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Microscopy and Microanalysis	6. 最初と最後の頁 667 ~ 675
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1017/S1431927618015428	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 Yamamoto Daiki, Kuroda Minami, Tachibana Shogo, Sakamoto Naoya, Yurimoto Hisayoshi	4. 巻 865
2. 論文標題 Oxygen Isotopic Exchange between Amorphous Silicate and Water Vapor and Its Implications for Oxygen Isotopic Evolution in the Early Solar System	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 98 ~ 98
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aadcee	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 Zhang Ai-Cheng, Wang Shu-Zhou, Tomioka Naotaka, Lu Xian-Cai, Ding Zhi-Yuan, Ma Chi, Wang Peng, Chen Jia-Ni, Xu Sheng, Gu Li-Xin, Bai Yuan-Qiang, Li Yang, Sakamoto Naoya, Wang Ru-Cheng	4. 巻 104
2. 論文標題 An example of high-T, high-symmetry crystallization: Spherical (Mg,Fe)-oxides formed by particle attachment in the shocked martian meteorite Northwest Africa 7755	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 American Mineralogist	6. 最初と最後の頁 150 ~ 157
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2138/am-2019-6597	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 Kuroda Minami, Tachibana Shogo, Sakamoto Naoya, Yurimoto Hisayoshi	4. 巻 104
2. 論文標題 Fast diffusion path for water in silica glass	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 American Mineralogist	6. 最初と最後の頁 385 ~ 390
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2138/am-2019-6802	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 Fei, H., Koizumi, S., Sakamoto, N., Hashiguchi, M., Yurimoto, H., Marquardt, K., Miyajima, N. and Katsura, T.	4. 巻 484
2. 論文標題 Mg lattice diffusion in iron-free olivine and implications to conductivity anomaly in the oceanic asthenosphere.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Earth Planet. Sci. Lett.	6. 最初と最後の頁 204-212
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.epsl.2017.12.020	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 Fei, H., Wiedenbeck, M., Sakamoto, N., Yurimoto, H., Yoshino, T., Yamazaki, D. and Katsura, T.	4. 巻 275
2. 論文標題 Negative activation volume of oxygen self-diffusion in forsterite.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physics of the Earth and Planetary Interiors	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.pepi.2017.12.005	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 Zellmer, G.F., Sakamoto, N., Matsuda, N., Iizuka, Y., Moebis, A. and Yurimoto, H.	4. 巻 220
2. 論文標題 Corrigendum to "On progress and rate of the peritectic reaction Fo+S102 En in natural andesitic arc magmas"	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Geochim. Cosmochim. Acta	6. 最初と最後の頁 552-553
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.gca.2017.09.043	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 Zhang, A.-C., Bu, Y.-F., Pang, R.-L., Sakamoto, N., Yurimoto, H., Chen, L.-H., Gao, J.-F., Du, D.-H., Wang, X.-L. and Wang, R.-C.	4. 巻 220
2. 論文標題 Origin and implications of troilite-orthopyroxene intergrowths in the brecciated diogenite Northwest Africa 7183	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Geochim. Cosmochim. Acta	6. 最初と最後の頁 125-145
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.gca.2017.09.051	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 Yabuta, H., Noguchi, T., Itoh, S., Nakamura, T., Miyake, A., Tsujimoto, S., Ohashi, N., Sakamoto, N., Hashiguchi, M., Abe, K.-i., Okubo, A., Kilcoyne, A.L.D., Tachibana, S., Okazaki, R., Terada, K., Ebihara, M. and Nagahara, H.	4. 巻 214
2. 論文標題 Formation of an ultracarbonaceous Antarctic micrometeorite through minimal aqueous alteration in a small porous icy body.	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Geochim. Cosmochim. Acta	6. 最初と最後の頁 172-190
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.gca.2017.06.047	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 Kawasaki, N., Simon, S.B., Grossman, L., Sakamoto, N. and Yurimoto, H.	4. 巻 221
2. 論文標題 Crystal growth and disequilibrium distribution of oxygen isotopes in an igneous Ca-Al-rich inclusion from the Allende carbonaceous chondrite.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Geochim. Cosmochim. Acta	6. 最初と最後の頁 318-341
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.gca.2017.05.035	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 Noguchi, T., Yabuta, H., Itoh, S., Sakamoto, N., Mitsunari, T., Okubo, A., Okazaki, R., Nakamura, T., Tachibana, S., Terada, K., Ebihara, M., Imae, N., Kimura, M. and Nagahara, H.	4. 巻 208
2. 論文標題 Variation of mineralogy and organic material during the early stages of aqueous activity recorded in Antarctic micrometeorites.	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Geochim. Cosmochim. Acta	6. 最初と最後の頁 119-144
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.gca.2017.03.034	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 Greenwood, J.P., Sakamoto, N., Itoh, S., Warren, P.H., Singer, J.A., Yanai, K. and Yurimoto, H.	4. 巻 51
2. 論文標題 The lunar magma ocean volatile signature recorded in chlorine-rich glasses in KREEP basalts 15382 and 15386.	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Geochem. J.	6. 最初と最後の頁 105-114
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2343/geochemj.2.0453	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 Singer, J.A., Greenwood, J.P., Itoh, S., Sakamoto, N. and Yurimoto, H.	4. 巻 51
2. 論文標題 Evidence for the solar wind in lunar magmas: A study of slowly cooled samples of the Apollo 12 olivine basalt suite	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Geochem. J.	6. 最初と最後の頁 95-104
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2343/geochemj.2.0462	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 Abe, K., Sakamoto, N., Krot, A.N. and Yurimoto, H.	4. 巻 51
2. 論文標題 Occurrences, abundances, and compositional variations of cosmic symplectites in the Acfer 094 ungrouped carbonaceous chondrite.	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Geochem. J.	6. 最初と最後の頁 3-15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2343/geochemj.2.0454	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 K. Suekuni, C. H. Lee, H. I. Tanaka, E. Nishibori, A. Nakamura, H. Kasai, H. Mori, H. Usui, M. Ochi, T. Hasegawa, M. Nakamura, S. Ohira-Kawamura, T. Kikuchi, K. Kaneko, H. Nishiate, K. Hashikuni, Y. Kosaka, K. Kuroki, and T. Takabatake,	4. 巻 30
2. 論文標題 Retreat from Stress: Rattling in a Planar Coordination.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Adv. Mater.	6. 最初と最後の頁 1706230/1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adma.201706230	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 Lee C. H., Nishida A., Hasegawa T., Nishiate H., Kunioka H., Ohira-Kawamura S., Nakamura M., Nakajima K., Mizuguchi Y.	4. 巻 112
2. 論文標題 Effect of rattling motion without cage structure on lattice thermal conductivity in La ₀ BiS _{2-x} Sex	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 023903 - 023903
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5010373	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 Y. Matsubayashi, T. Hasegawa, N. Ogita, J. Yamaura, Z. Hiroi,	4. 巻 536
2. 論文標題 High-pressure Raman study on the superconducting pyrochlore oxide Cd ₂ Re ₂ O ₇	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physica B	6. 最初と最後の頁 600 - 603
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physb.2017.10.030	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 Kuga Yukari, Wu Ting-Di, Sakamoto Naoya, Katsuyama Chie, Yurimoto Hisayoshi	4. 巻 9
2. 論文標題 Allocation of Carbon from an Arbuscular Mycorrhizal Fungus, <i>Gigaspora margarita</i> , to Its Gram-Negative and Positive Endobacteria Revealed by High-Resolution Secondary Ion Mass Spectrometry	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Microorganisms	6. 最初と最後の頁 2597 ~ 2597
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/microorganisms9122597	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 Ito Masaru, Kuga Yukari, Yamagishi Takayuki, Fujita Miya, Aoyagi Satoka	4. 巻 15
2. 論文標題 Evaluation of secondary ions related to plant tissue using least absolute shrinkage and selection operator	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Biointerphases	6. 最初と最後の頁 021010 ~ 021010
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1116/6.0000010	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29件 (うち招待講演 5件 / うち国際学会 10件)

1. 発表者名 Chie Katsuyama, Thi Thanh Huong Nguyen, Ryo Ohtomo and Yukari Kuga
2. 発表標題 Relationship between 18S rRNA gene polymorphisms and endobacterial communities in a strain of <i>Gigaspora margarita</i>
3. 学会等名 International Conference on Mycorrhiza, Merida, Mexico (国際学会)
4. 発表年 2019年

1 . 発表者名 Nguyen Thi Thanh Huong, Chie Katsuyama, Hitoshi Nakamura, Yukari Kuga
2 . 発表標題 Hyphosphere characterized by bacterial and fungal communities of Gigaspora margarita and Rosellinia necatrix from soil and host rhizosphere
3 . 学会等名 International Conference on Mycorrhiza, Merida, Mexico (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Yukari Kuga, Ting-Di Wu, Naoya Sakamoto, Kosuke Nagata, Chie Katsuyama, Hisayoshi Yurimoto
2 . 発表標題 Tracing fungal nitrogen and host carbon in arbuscular mycorrhizal symbiosis by correlative ultrastructural TEM observation and high-resolution secondary ion mass spectrometry imaging.
3 . 学会等名 International Conference on Mycorrhiza, Merida, Mexico (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Yukari Kuga, Naoya Sakamoto, Hisayoshi Yurimoto, Didier Reinhardt
2 . 発表標題 Carbon flow analysis in arbuscular mycorrhizas using Petunia hybrida and high-resolution SIMS
3 . 学会等名 World Petunia Days 2019 , Gargano, Italy (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Masaru Ito, Yukari Kuga, Takayuki Yamagishi, Miya Fujita, and Satoka Aoyagi
2 . 発表標題 Sparse Modeling Application to Image Fusion Data of Plant Tissues using TOF-SIMS and Light Microscope
3 . 学会等名 The 22nd International Conference on Secondary Ion Mass Spectrometry (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 久我 ゆかり・Ting-Di Wu・永田 康祐・坂本 直哉・Jean-Luc Guerquin-Kern・勝山千恵・垾本 尚義
2. 発表標題 ダイナミックSIMSを用いた安定同位体トレーサーの微細構造局在解析：アーバスキュラー菌根における生体元素膜間輸送
3. 学会等名 日本土壤微生物学会2018年度大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 勝山千恵, 田森悠美, 于遥, Nguyen Thi Thanh Huong, 田代智子, 中村仁, 久我ゆかり
2. 発表標題 白紋羽病菌菌糸圏土壤細菌群集のPICRUStによる予測的機能プロファイル解析
3. 学会等名 日本土壤微生物学会2018年度大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yukari Kuga
2. 発表標題 Exchanges of macro-elements in plant-fungal symbioses revealed by secondary ion mass spectrometry
3. 学会等名 Plant-Environment Interaction: evolution, diversity, and utilization for crop improvement (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Nguyen Thi Thanh Huong, Chie Katsuyama, Yumi Tamori, Hitoshi Nakamura, Yukari Kuga
2. 発表標題 Extraradical hyphae- and root-associated bacterial communities of an arbuscular mycorrhizal symbiosis using next-generation sequencing
3. 学会等名 日本土壤微生物学会2018年度大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Thi Thanh Huong Nguyen, Chie Katsuyama, and Yukari Kuga
2. 発表標題 The fungal communities of <i>Gigaspora margarita</i> and <i>Rosellinia necatrix</i> hyphospheres changed by a heat treatment
3. 学会等名 菌根研究会2018年度大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 勝山 千恵・Nguyen Thi Thanh Huong・大友 量・久我 ゆかり
2. 発表標題 複数機関で継代培養した <i>Gigaspora margarita</i> C株分離胞子の真菌および細菌SSU rRNA遺伝子のDGGE解析
3. 学会等名 菌根研究会2018年度大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Hasegawa
2. 発表標題 Raman scattering investigation on geometrically frustrated iridate Ca ₅ Ir ₃ O ₁₂
3. 学会等名 Emergent Condensed-Matter Physics 2019 (ECMP2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 KUGA, Y., N. Sakamoto, K. Nagata, H. Yurimoto, and C. Katsuyama
2. 発表標題 13C-tracers added to hyphae resulted in different destinations of host organelles in orchid symbiotic protocorms. 9th International conference on mycorrhiza
3. 学会等名 9th International conference on mycorrhiza (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 久我ゆかり・T.-D. Wu・J.-L. Guerquin-Kern・永田 康祐・坂本直哉・坎本尚義・勝山千恵
2. 発表標題 TEM-SIMSを用いた ¹³ C02ラベル実験によるアーバスキュラー菌根菌内生細菌への炭素輸送解析TEM-SIMSを用いた ¹³ C02ラベル実験によるアーバスキュラー菌根菌内生細菌への炭素輸送解析TEM-SIMSを用いた ¹³ C02ラベル実験によるアーバスキュラー菌根菌内生細菌への炭素輸送解析
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 高橋真秀・勝山千恵・蔦木康徳・久我ゆかり・中村仁
2. 発表標題 Trichoderma harzianumを含有する土壌改良資材と温水処理との併用による白紋羽病菌の衰退および両菌のPCR-DGGE法による検出
3. 学会等名 平成29年度日本植物病理学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 于遥 ・田森悠美・勝山千恵・中 村仁・久我ゆかり
2. 発表標題 白紋羽病菌と菌糸圏から分離された微生物間の相互作用における温度の影響
3. 学会等名 平成29年度日本植物病理学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 田森悠美・勝山千恵・于遥・中村仁・久我ゆかり
2. 発表標題 実験的低温化温水処理における白紋羽 病菌菌糸圏細菌および真菌群集の変動解析
3. 学会等名 平成29年度日本植物病理学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名	Chie Katsuyama, Mako Kanno, Akihiko Terada, Keisuke Koba, Yukari Kuga, Lisa Y. Stein, Martin G. Klotz, Yuichi Suwa
2. 発表標題	Elucidation of hybrid N ₂ O formation mechanisms by Nitrosomonas strains using an ¹⁵ N tracer technique.
3. 学会等名	the 5th International Conference on Nitrification and Related Processes
4. 発表年	2017年

1. 発表者名	田森悠美・山田博之・勝山千恵・井上幸次・江口直樹・岩波靖彦・内川敬介・後藤佳奈, ・中村仁・久我ゆかり
2. 発表標題	定法および低温温水処理後の白紋羽病菌菌糸圏における細菌および真菌群集のDGGE解析
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	高橋真秀・門馬法明・鈴木健・中村仁・久我ゆかり・深見正信
2. 発表標題	低濃度エタノールを用いた土壌還元消毒による白紋羽病菌の衰退と糸状菌相の変化
3. 学会等名	平成29年度日本植物病理学会関東部会
4. 発表年	2017年

1. 発表者名	H.T.T. Nguyen, C. Katsuyama, Y. Kuga
2. 発表標題	Changes of bacterial community of hyphosphere of <i>Gigaspora margarita</i> and <i>Rosellinia necatrix</i> by a hot water treatment.
3. 学会等名	菌根研究会2017年度大会
4. 発表年	2017年

1. 発表者名 T. Hasegawa
2. 発表標題 Analysis of anharmonicity on tetrahedrites Cu ₁₂ X ₄ S ₁₃ (X=As and Sb)
3. 学会等名 Emergent Condensed-Matter Physics 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 久我ゆかり
2. 発表標題 相関電子顕微鏡法を用いた放射光蛍光X線および二次イオン質量分析による菌根機能解析
3. 学会等名 日本顕微鏡学会第76回学術講演会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 井上潤一、吉舎史晃、久我ゆかり
2. 発表標題 イージーピールフィルム海島構造の簡易観察：クリオスタット切片 - 光学顕微鏡コントラスト法
3. 学会等名 日本顕微鏡学会 第77回学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 久我ゆかり
2. 発表標題 菌根共生における元素交換を微細構造レベルで可視化する
3. 学会等名 顕微鏡学会第77回学術講演会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Nguyen Thi Thanh Huong, Chie Katsuyama, Satoko Tomikawa, Yukari Kuga
2. 発表標題 Serendipita root-endophyte isolated from roots inoculated with Gigaspora margarita
3. 学会等名 日本微生物生態学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 久我ゆかり
2. 発表標題 植物-真菌-細菌四重共生観察のためのクライオ電子顕微鏡法
3. 学会等名 日本顕微鏡学会 第78回学術講演会(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Nguyen Thi Thanh Huong, Katsuyama Chie, Kuga Yukari
2. 発表標題 Effects of heat treatments on hyphal growth and the competitive ability of Rosellinia necatrix
3. 学会等名 日本土壤微生物学会2022年度大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yukari Kuga, Ting-Di Wu, Naoya Sakamoto, Chie Katsuyama, Hisayoshi Yurimoto
2. 発表標題 Quadruple symbioses of arbuscular mycorrhiza analyzed from the elemental flows
3. 学会等名 The 11th International Conference on Mycorrhiza(国際学会)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 Yukari Kuga, Klaus Schlappi, Didier Reinhardt	4. 発行年 2019年
2. 出版社 Springer	5. 総ページ数 279
3. 書名 From imaging to functional traits in interactions between roots and microbes. In: "Rhizosphere Biology" -- Methodology in Rhizosphere Research, p227-239	

1. 著者名 坂本直哉、阿部光太郎、坂本尚義	4. 発行年 2018年
2. 出版社 羊土社	5. 総ページ数 236
3. 書名 同位体顕微鏡 - 宇宙から生命までを覗く窓 - . In: イメージングの選び方・使い方100+, p78-79	

〔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	勝山 千恵 (Katsuyama Chie) (10580061)	広島大学・統合生命科学研究科(総)・助教 (15401)	
研究分担者	坂本 直哉 (Sakamoto Naoya) (30466429)	北海道大学・創成研究機構・助教 (10101)	
研究分担者	長谷川 巧 (Hasegawa Takumi) (20508171)	広島大学・先進理工系科学研究科(総)・准教授 (15401)	

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
研究分担者	青柳 里果 (Aoyagi Satoka) (20339683)	成蹊大学・理工学部・教授 (32629)	

	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	ウ ティンディ (Wu Ting-Di)	キュリー研究所(フランス)・Curiecoretech multimodal imaging center・Pole Manager	
研究協力者	ラインハルト ディディエ (Reinhardt Didier)	フリブール大学(スイス)・Department of Biology・Professor	
研究協力者	ペロット シルヴィア (Perotto Silvia)	トリノ大学(イタリア)・Department of Life Sciences and Systems Biology・Professor	
研究協力者	バルストリーニ ラッファエッラ (Raffaella Balestrini)	イタリア学術会議(イタリア)・Institute for Sustainable Plant Protection・Research Director	
研究協力者	ジョーンズ メラニー (Jones Melanie)	ブリティッシュコロンビア大学(カナダ)・Department of Biology・Professor	
研究協力者	宮澤 淳夫 (Miyazawa Atsuo) (60247252)	兵庫県立大学・理学研究科・教授	

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