

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 31 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2010～2013

課題番号：22380045

研究課題名(和文) 菌根圏生態系における元素移動・生物間相互作用の可視化

研究課題名(英文) Visualization of element transfer and biological interaction in mycorrhizosphere ecosystem

研究代表者

久我 ゆかり (KUGA, YUKARI)

広島大学・総合科学研究科・教授

研究者番号：30232747

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,000,000円、(間接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：植物の根域生態系におけるCおよびNの生物間の受け渡しを細胞・組織・生態レベルで明らかにする新規手法を確立した。細胞・組織レベルでは、安定同位体をトレーサーとして植物との真菌の共生である菌根を用い、樹脂切片法-同位体顕微鏡観察法により元素の流れを解析した。また、土壌微生物間機能解析系は、果樹類白紋羽病の温水処理による抑止現象を用い、菌糸圏土壌細菌作用の関与を明らかにし、環境中のDNAによる菌糸圏細菌群の分析法、分離株による加温処理を組み合わせた発病抑止試験、細胞レベルでの生死判定および抗菌活性試験法を確立した。

研究成果の概要(英文)：Objectives of this study were to establish a new methodology to analyze elemental flows between organisms at levels of cell, tissue, and soil ecosystems. At cellular and tissue levels, mycorrhizal systems were used, where localizations of stable isotope tracers were observed by an isotope microscope in resin embedded sections. For soil microbe interactions, a decline of soil born fungus causing white root rot by a hot water treatment was used as a model system. It was shown that soil microbes participated in the fungal death. Methods to analyze bacteria communities of mycosphere, and inoculation tests, proliferation and antifungal tests on fungal hyphae, with a heat treatment were established for bacterial isolates.

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農芸化学、植物栄養学・土壌学

キーワード：菌根共生 物質輸送 同位体顕微鏡 微細構造 菌糸圏微生物 PCR-DGGE 白紋羽病 温水処理

1. 研究開始当初の背景

ほとんどすべての陸上植物は糸状菌との共生器官である菌根を形成している。菌根共生は、植物種、関与する菌種、および形態から7つに分類されているが、いずれの構造も、植物の根とその根に定着した菌糸(内生菌糸)および土壤中に伸びた菌糸(外生菌糸)からなる。放射性同位元素を用いた研究により、菌糸が土壌起源の元素を吸収して内生菌糸経由で植物に供給し、一方、菌根菌は植物が固定した炭素を得ることが明らかにされている(Jacobsen *et al.*, 1992)。アーバスキュラー菌根(AM)性植物種は被子・裸子など4つの主要植物群すべてに存在し、宿主および地理的範囲が最も広い。一方外生菌根(EM)性である樹木は寒冷地帯などで大きなバイオマスをもつ。これらは陸上生態系の一次生産において重要な菌根型である。

植物の必須元素であるリンは、リン酸として土壌に固定されているため獲得が難しく、菌根効果が大きい元素である。真菌類が吸収したリン酸はポリリン酸として液胞内に集積され(Ashford, 2002)、菌根機能のリン酸源として推定されている。AM菌においては研究代表者らにより管状液胞構造(Uetake *et al.*, 2002)および一様型ポリリン酸構造(Kuga *et al.*, 2008)が報告された。菌根共生機能の基盤である植物細胞と菌根菌の界面での分子輸送機構については、膜に局在する輸送タンパク質をコードする遺伝子およびその機能がAMおよびEMで研究されている(Javot *et al.*, 2007; Chalot *et al.*, 2006)。菌根は真核生物の共生であり、かつAMFは絶対共生性、EM植物の多くは木本類であることなどから遺伝子機能の研究は困難であり、輸送から受け渡しまでの機構のほとんどは明らかになっていない。

ラン科植物は独自の菌根型を形成し、さらに胚のみからなる種子が葉を形成するまで、プロトコームと呼ばれる生長期を経る。自然界ではプロトコームの生長は共生菌にCを含むすべての栄養を依存している(菌従属栄養)。ラン型菌根および共生プロトコームでは細胞内にコイル状菌糸(菌毯)の形成と崩壊が繰り返されることから、古くから菌根菌からラン宿主への養分の輸送機能として推定される一方、生きている菌糸から宿主植物への輸送の存在が示唆され、長く2つの対立する仮説が提唱されている。

植物はC以外の元素をすべて根系より得ており、根の拡張機能である菌根共生がC固定に果たす役割は大きい。外生菌糸内での物質輸送、根内における物質交換のしくみ、菌根を起点とする土壌生態系における物質循環を明らかにすることは、植物が関わる地球化学

的物質循環、持続的な食料生産の側面から重要である。

2. 研究の目的

(1) 細胞・組織における元素移動の可視化

本研究では土壌 - 外生菌糸 - 内生菌糸 - 植物細胞間で起こるC, N, P, Cd等元素の細胞・組織レベルでの移動を、対象元素を同位体顕微鏡、放射光施設(SPring-8)など最先端の顕微分析法により可視化することにより解析する新規手法を確立する。生体元素は安定同位体ラベルされた化合物をトレーサーとして用い、外生菌糸内、菌根内の同位体局在を同位体顕微鏡により解析する。さらに、生体元素移動に関与する遺伝子を解析し、菌根における元素移動機構を明らかにする。Cdは外生菌糸および菌根内での局在を放射光のマイクロビーム(SPring-8)の蛍光X線マッピングおよびXANESにより分析し、植物のCd蓄積における菌根の役割を明らかにする。

(2) 土壌生態系内元素移動の可視化

本研究では、植物 - 真菌(菌根菌、土壌伝染性病原菌) - 土壌微生物間の物質輸送を解析するための系の確立を行う。果樹類白紋羽病の治療新技術である温水処理による白紋羽病菌菌糸圏およびAM菌糸圏の微生物相の変動を解析する。また、ミニライゾトロン法により、外生菌根の菌糸圏における糸状菌の発達を解析する。

3. 研究の方法

(1) 細胞・組織における元素移動の可視化:

生体元素の輸送を解析する実験手法の確立のため、モデル菌根系として緑色ラン科植物のプロトコーム(菌従属栄養)および実生(独立栄養)を用いた。安定同位体トレーサーとして¹³C-化合物(グルコースおよびCO₂)および¹⁵N化合物(硝酸アンモニウム)を用い、菌糸のみ(グルコースおよび硝酸アンモニウム)あるいは植物(CO₂)のみに与え、共生組織を定法に従って樹脂包埋切片とし、同位体顕微鏡により¹²C, ¹³C, ¹²C¹⁴N, ¹²C¹⁵Nの各画像を取得した。各同位体画像処理により¹³C/¹²Cおよび¹²C¹⁵N/¹²C¹⁴N画像を得、各同位体比の強度を認識できる細胞構造ごとにROI分析により求めた。¹³Cおよび¹⁵Nの天然存在比(1.10および0.366)と比較することによりトレーサーの細胞内移動を解析した。CおよびNの輸送に関わる遺伝子を網羅的に解析するため、次世代シーケンズを用いたトランスクリプトーム解析を検討した。Cdの輸送解析はアーバスキュラー菌根系を用い、外生菌糸のみに、あるいは菌根全体にCdを添加し、加圧・急速凍結法を用いて組織を樹脂包埋した。厚切り切片をポリプロピレン膜に貼

り付け, SPring-8 BL37XU において蛍光 X 線の面分析および Cd の X 線吸収端近傍構造解析 (XANES) 分析を行った。

(2) 土壤生態系内元素移動の可視化: 温水処理による菌糸圏微生物相の変動解析では, 土壤に埋設した白紋羽病菌培養枝あるいは根箱法で生育させた AM 植物を水浴中で温度処理し, 菌糸体(菌糸圏), 土壤, および根(根圏)の振とう液を作成し, それぞれ菌糸圏, 土壤, および根圏微生物の試料とした。振とう液の遠沈残渣から DNA を抽出し, 16S rDNA を PCR により増幅し, 変性剤濃度勾配ゲル電気泳動法 (DGGE) および次世代シーケンス法により温水処理時に増殖する特異的な細菌相を解析した。また振とう液の希釈平板法により細菌を分離し, アピ簡易細菌同定キットおよび 16S rDNA 塩基配列より同定を行い, 白紋羽病菌の抑制機構(間接的菌糸生育抑止性:拮抗物質の産生,直接的菌糸生育抑止性:生育抑止性・殺菌性,菌糸上増殖等)および AM 菌への作用(発芽率,発芽菌糸数,発芽菌糸分子数,感染率)を解析した。外生菌糸の発達をミニライゾトロン法により観察した。

4. 研究成果

(1) 細胞・組織における元素移動の可視化:
 生体元素の輸送について, 共生プロトコームから伸長している菌糸のみに ^{13}C (グルコース) を与え, 3日間培養後, プロトコーム細胞内のコイル状菌糸(菌球)の $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ は約 6 - 10% であり, 宿主構造では, 細胞壁(感染・非感染細胞), 細胞質(感染・非感染細胞), アミロプラスト(非感染細胞)等で上昇したことから, 外生菌糸 内生菌糸 宿主細胞への輸送が検出された。切片全面解析では, 非感染細胞に C および N が集積することが明らかになるとともに, 共生菌感染により宿主細胞の炭素輸送に関わる代謝が大きく変化することが明らかになった。宿主の r13C は非感染細胞より生きている菌球を有する細胞で高く, 菌糸と宿主細胞質の間に両同位体比はともに正の相関があり, また若い菌糸近傍の脱分化中のアミロプラストに一過的な C の流れがあったことから, 生きている菌糸から C および N が宿主細胞に渡されることが明らかになった。さらに, 老化菌糸中に同位体比の大幅な上昇が観察されたことから, 崩壊過程は宿主細胞への養分受け渡し機構として重要な役割があることが示唆された。すなわち, 歴史的に長く議論されてきた 2 つの対立する仮説がともに支持された。独立栄養に移行した緑色ランの実生における ^{13}C ラベル物質 (CO_2 , グルコース) の移動解析により, 膜面での C の両方向の移動が示された。本研究により, 安定同位体を用いた生物の細胞・細胞小器官レベルでの元素移動の評価法

が確立し, さらに菌根共生として全く新規の機能が明らかとなった。今後, 本手法の適用により, 生命科学において, 細胞レベルでの物質移動・代謝に関わる新規の情報が得られる可能性が示唆された。

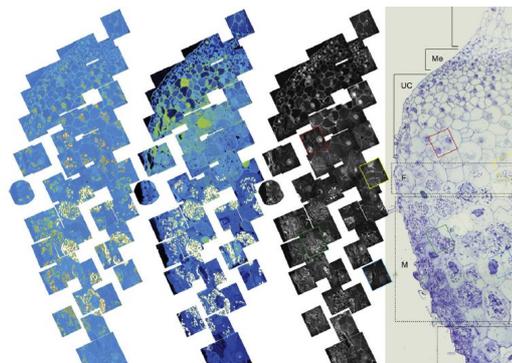


図 プロトコーム全体の同位体比画像。
 左, $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$; 左から 2 つ, $^{12}\text{C}^{15}\text{N}/^{12}\text{C}^{14}\text{N}$; ^{13}C と ^{15}N の重ね合わせ; 右から 2 つ, $^{12}\text{C}/^{14}\text{N}$; 右, TBO 染色。

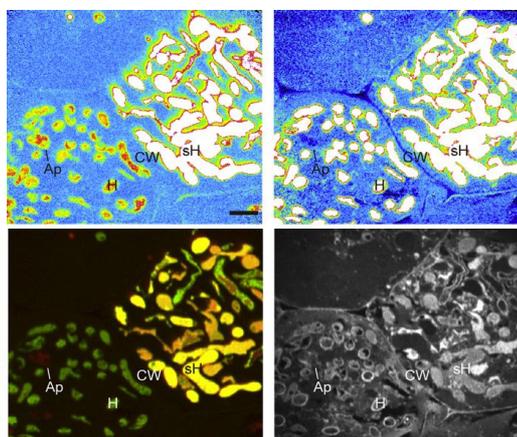


図 プロトコーム細胞の同位体比画像。
 左上, $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$; 右上, $^{12}\text{C}^{15}\text{N}/^{12}\text{C}^{14}\text{N}$; 左下, ^{13}C と ^{15}N の重ね合わせ; 右下, $^{12}\text{C}/^{14}\text{N}$ 。画像内左下の細胞の菌球は生長期, 右上の菌球は崩壊期。

アーバスキュラー菌根における Cd の輸送について, 外生菌糸のみに与えた Cd が菌糸液胞内に, ポリリン酸とともに蓄積されることを明らかにした。菌糸内の異なる細胞構造に蓄積・存在する Cd-K の放射光により取得した XANES スペクトルのフィッティング解析を行い, 同スペクトルに第二近接元素情報が含まれる可能性が示唆された。

(2) 土壤生態系内元素移動の可視化
 温水処理による白紋羽病の抑止現象において菌糸圏に焦点を当てることにより, 白紋羽病菌の衰退には熱による直接的な死滅効果のほかに土壤微生物作用が関わっていることを明らかにした。土壤圏, 根圏および菌糸圏細菌群について 16S rDNA の PCR-DGGE 解析および次世代シーケンスにより推定した結果, 菌糸圏には特徴的な細菌が存在し, 温水処理

によりこれらのうち2群が特異的に増加することが示された。これらのうち1群は分離培養され、白紋羽病菌抑制機能について加温処理を加えた発病試験・抗菌活性試験等細胞レベルでの解析を行った。その結果、拮抗物質ではなく菌糸上で増殖することが発病抑制に重要であることが示唆された。

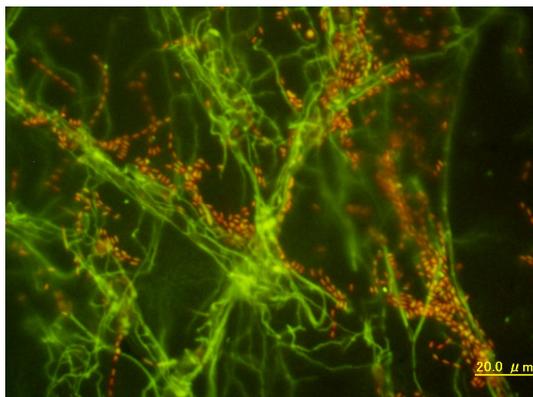


図 白紋羽病菌の菌糸上で増殖する細菌(FUN1染色)

同位体ラベルを行った白紋羽病菌と拮抗的な放線菌との培地上対峙培養により放線菌へのC取り込みが観察された。白紋羽病菌菌糸圏等で分離された細菌5種のAMF胞子および菌糸への影響を調べた結果、これらは発芽抑制、分枝促進など機能を有することが明らかになった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計7件)

Kuga, Y., Sakamoto, N., Yurimoto, H., 2014, Stable isotope cellular imaging reveals that both live and degenerating fungal pelotons transfer C and N to orchid protocorms. *New Phytologist* 202: 594-605. DOI: 10.1111/nph.12700. 査読有.

Nayuki, K., Chen, BD, Ohtomo, R., Kuga, Y., 2014. Cellular imaging of cadmium in resin sections of arbuscular mycorrhizas using synchrotron micro X-ray fluorescence. *Microbes and Environments* 29: 60-66. DOI: 10.1264/jsme2.ME13093. 査読有.

和崎 淳 . 2012 . リン酸資源の枯渇に対応したリン栄養研究 . 2 . 有機態リン酸の利用 . *日本土壤肥料学雑誌* 83 : 177-182 . 査読有 .

Maruyama, H., Yamamura, T., Kaneko, Y., Matsui, H., Watanabe, T., Shinano, T., Osaki, M., Wasaki, J. 2012. Effect of exogenous phosphatase and phytase activities on organic phosphate mobilization in soils with different phosphate adsorption capacities. *Soil Science and Plant Nutrition* 58: 41-51. DOI: 10.1080/

00380768.2012.656298. 査読有.

Wickramatilake, A. R. P., Munehiro, R., Nagaoka, T., Wasaki, J., Kouno, K. 2011. Compost amendment enhances population and composition of phosphate solubilizing bacteria and improves phosphorus availability in granitic regosols. *Soil Science and Plant Nutrition* 57: 529-540. DOI: 10.1080/00380768.2011.600243. 査読有.

Sakai, Y., Watanabe, T., Wasaki, J., Senoura, T., Shinano, T., Osaki, M. 2010. Influence of arsenic stress on synthesis and localization of low-molecular-weight thiols in *Pteris vittata*. *Environmental Pollution* 158: 3663-3669. DOI: 10.1016/j.envpol.2010.07.043. 査読有.

Ohkama-Ohtsu, N., Wasaki, J. 2010. Recent progress in plant nutrition research: cross-talk between nutrients, plant physiology and soil microorganisms. *Plant and Cell Physiology* 51: 1255-1264. DOI: 10.1093/pcp/pcq095. 査読有.

〔学会発表〕(計39件)

Kuga, Y., Sakamoto, N., Yurimoto, H. Anatomical approaches of C and N transfers between symbiotic fungal and orchid protocorm cells. The 2nd Shanghai Chenshan International Orchid Symposium and The 10th International Symposium on Diversity and Conservation of Asian Orchids. Mar. 29th - Mar. 30th, 2014. Shanghai Chenshan Plant Science Research Center, Shanghai, China.

丸山隼人, 津村暁彦, 海野佑介, 及川彰, 俵谷圭太郎, 信濃卓郎, 和崎淳. De novo RNA-seqとCE-TOF/MSによる代謝産物プロファイリングに基づくシロバナルーピンの低リン耐性機構の解析. 第55回日本植物生理学会年会. 2014年3月18-20日. 富山大学(富山市).

久我ゆかり. 同位体顕微鏡を用いた植物-真菌共生細胞における元素輸送の解析. 第1回北海道大学オープンファシリティシンポジウム. 2014年3月10日. 京王プラザホテル(札幌市).

高瀬真矢, 樋口二郎, 山田博之, 中村仁, 久我ゆかり. *Gigaspora margarita*胞子発芽におよぼす加温処理および菌糸圏細菌の影響. 菌根研究会2013年度大会. 2013年11月16日. 東北大学複合生態フィールド教育研究センター(大崎市).

久我ゆかり. 温水治療の有用土壌微生物に対する影響. 第3回果樹白紋羽病温水治療ワークショップ. 2013年11月14日. ピュアリティーまきび(岡山市).

Kuga, Y., Sakamoto, N., Yurimoto, H. Visualizing stable isotope tracers in plant-fungal symbiotic cells. 19th International Conference on Secondary Ion Mass Spectrometry. Sep. 29th - Oct.4th, 2013.

International Convention Center Jeju, Jeju, Korea.
丸山隼人, 山内大輝, 小濱卓郎, 和崎淳. ヤマモガシ科植物 *Hakea laurina* の低リン耐性機構に関わる遺伝子の解析. 日本土壌肥料学会2013年度名古屋大会. 2013年9月11-13日. 名古屋大学 (名古屋市)
Maruyama, H., Unno, Y., Shinano, T., Wasaki, J. De novo sequencing and analysis of the white lupin root comparative transcriptome using a 454 GS Junior platform to discover putative genes involved in phosphorus deficiency. 17th International Plant Nutrition Colloquium. Aug. 19th-22nd, 2013. Istanbul, Turkey.
久我ゆかり, 坂本直哉, 坂本尚義. 同位体顕微鏡によるラン共生プロトコームにおける元素輸送の細胞内可視化. 日本土壌微生物学会2013年度大会. 2013年6月19日 - 6月21日. 東京農工大 (東京都府中市)
Kuga, Y., Sakamoto, N., Yurimoto, H. Bidirectional carbon transports in orchid mycorrhiza revealed by stable isotope - cellular imaging. 5th International Orchid Workshop. May 17th-19th, 2013. University of Calabria, Rende, Italy.
Maruyama, H., Sasaki, T., and Wasaki, J. AtALMT3 is a malate transporter induced in roots of phosphorus deficient *Arabidopsis thaliana*. International Workshop on Plant Membrane Biology XVI. 2013年3月25-31日. 倉敷市芸文館 (倉敷市).
久我ゆかり. 同位体顕微鏡を用いたマイクロイメージング法による共生組織における元素輸送解析. 基礎生物学研究所生物機能解析センター公開セミナー. 2013年1月28日. 岡崎基礎生物学研究所 (岡崎)
Kuga, Y., Sakamoto, N., Yurimoto, H. Cellular acquisition and allocation of carbon and nitrogen in orchid symbiotic protocorm unveiled by isotope microscopy. 7th International Conference on Mycorrhiza. Jan 6th - 11th, 2013. New Delhi, India.
Yamada, H., Higuchi, J., Iwanami, Y., Inoue, K., Wasaki, J., Sasaki, A., Suzaki, K., Nakamura, N., Kuga, Y. A hot water treatment, a new physical method for controlling white root rot, alters bacterial communities in mycosphere of the pathogen and arbuscular mycorrhizal fungus. 7th International Conference on Mycorrhiza. Jan 6th - 11th, 2013. New Delhi, India.
久我ゆかり, 坂本直哉, 坂本尚義. ラン共生プロトコームにおける細胞内CおよびN輸送の可視化. 2012年度菌根研究会. 2012年10月27日. 帝京科学大学 (東京都足立区)
松崎弘佑, 丸山隼人, 和崎淳. ルーピンの

根圏における細菌群集と有機態リンの動態に及ぼす有機酸の影響. 日本土壌肥料学会鳥取大会. 2012年9月5日. 鳥取大学 (鳥取市).

和崎淳. 難利用性リンの積極的獲得に関わる根分泌物の輸送と制御. 岡山大学資源植物科学研究所 拠点共同研究主催ワークショップ. 2012年8月31日. 倉敷市芸文館 (倉敷市).

久我ゆかり. 同位体顕微鏡による菌根共生細胞間元素移動の可視化. 第4回安定同位元素イメージング技術による産業イノベーションシンポジウム. 2012年6月15日. 北海道大学 (札幌市).

久我ゆかり. anoSIMS50とIMS1270による植物-真菌共生細胞のイメージング. - 同位体トレーサーを用いた生物学的応用例 -. 第1回SIMS勉強会. 2012年3月14日. 東京大学 (東京都文京区).

山田博之, 佐々木厚子, 井上幸次, 岩波靖彦, 森田剛成, 中村仁, 久我ゆかり. 温水処理と白紋羽病菌に拮抗的な細菌の解析法. 平成24年度日本植物病理学会大会. 2012年3月27-30日. 福岡国際会議場 (福岡市)

②① 柳原巧, 樋口二郎, 井上幸次, 森田剛成, 岩波靖彦, 中村仁, 久我ゆかり. 果樹類白紋羽病の温水治療法がアーバスキュラー菌根共生感染ポテンシャルに与える影響. 2011年度菌根研究会. 2011年12月10日. 広島大学 (東広島市).

②② 和崎淳. 非菌根性シロバナルーピンの根圏におけるリン吸収能力とその活用. 菌根研究会. 2011年12月10日. 広島大学 (東広島市).

②③ 久我ゆかり. SIMSを用いた共生生物間元素移動の細胞学的解析. カメカテクニカルセミナー2011. 2011年11月11日. くるまブラザ貸会議室 (東京都港区).

②④ 和崎淳. 植物機能の活用による土壌蓄積リンの効率的利用技術. 平成23年度関東東海土壌肥料部会・秋季研究会. 2011年10月6日. マロウドイン熊谷 (熊谷市)

②⑤ Mizukami, N., Wasaki, J. Interactions between plants and phytate mineralizing bacteria isolated from the rhizosphere. International Union of Microbiological Societies 2011 Congress. 2011年9月6日 - 9月16日. 札幌コンベンションセンター (札幌市).

②⑥ 久我ゆかり. μ XRFおよびXANESによるアーバスキュラー菌根におけるカドミウムの動態解析. 日本土壌肥料学会. 2011年度大会 (つくば). 2011年8月8日-10日. つくば国際会議場 (つくば市).

②⑦ 和崎淳. 日本土壌肥料学会. 2011年度大会 (つくば). 植物の養分ホメオスタシス(2) リン酸. 2011年8月8日-10日. つくば国際

- 会議場（つくば市）。
- ②⑧ Wasaki, J. Plant strategies of phosphorus uptake from unavailable forms. 3rd Japan-China Plant Nutrition Joint Workshop. 2011年3月28日. 倉敷芸文館（岡山県倉敷市）。
- ②⑨ 久我ゆかり .安定同位元素イメージングによる菌根共生機能解析.第3回 安定同位元素イメージング技術による産業イノベーション シンポジウム.平成23年3月18日.北海道大学（札幌市）。
- ③⑩ 西村恵里,中村仁,久我ゆかり .土壌への加温処理が白紋羽病菌の生存と土壌静菌作用に与える影響.平成23年度日本植物病理学会大会.2011年3月28日.東京農工大学(東京都)震災により未開催であるが発表扱い。
- ③⑪ 久我ゆかり ,大友量,陳保冬,名雪桂一郎,柳原巧,山口亜紀乃.菌根細胞内カドミウムの放射光によるマイクロ解析.第46回X線分析討論会.2010年10月23日.広島県情報プラザ（広島市）。
- ③⑫ Maruyama, H., Sasaki, T., Wasaki, J. Organic acid secretion under phosphorus deficient condition shows a diurnal variation and a different pattern from aluminum stress. 4th International Symposium on Phosphorus Dynamics in the Soil-Plant Continuum. Sep. 21st, 2010. Beijing Friendship Hotel, Beijing, P.R. China.
- ③⑬ Wasaki, J., Maruyama, H., Uewaki, Y., Nakano, Y., Yamamura, T., Tanaka, M., Dateki, H., Kouno, K., Shinano, T., Osaki, M. 4th International Symposium on Phosphorus Dynamics in the Soil-Plant Continuum. Sep. 21st, 2010. Beijing Friendship Hotel, Beijing, P.R. China.
- ③⑭ 上脇葉子,中野陽介,丸山隼人,河野憲治,和崎淳 .シロバナルーピンの混植が主作物のリン吸収に及ぼす影響の評価.日本土壌肥料学会2010年北海道大会.2010年9月7日-9日.北海道大学（札幌市）。
- ③⑮ 丸山隼人,佐々木孝行,和崎淳 .リン欠乏に応答したシロイヌナズナ根からの有機酸分泌機構.日本土壌肥料学会2010年北海道大会.2010年9月7日-9日.北海道大学（札幌市）。
- ③⑯ 和崎淳 ,丸山隼人.リン欠乏で誘導される機能未知トランスポーター様遺伝子の解析.日本土壌肥料学会2010年北海道大会.2010年9月7日-9日.北海道大学（札幌市）。
- ③⑰ Kuga, Y., Ohtomo, R., Nayuki, K., Chen, B.D. Synchrotron micro-XANES analysis of cadmium in resin embedded sections of arbuscular mycorrhiza. The 9th international Mycology Congress. Aug. 6th, 2010. Edinburgh International Conference Centre,

Edinburgh, UK.

- ③⑱ Wasaki, J. Functions of cluster roots of white lupin grown under P or N deficient conditions. 1st International Symposium on the Nitrogen Nutrition of Plants. 2010年7月28日. 犬山国際観光センターフロイデ(愛知県犬山市)。
- ③⑲ 久我ゆかり ,大友量,名雪桂一郎,陳保冬.アーバスキュラー菌根樹脂切片中CdのXAFS解析.日本土壌微生物学会2010大会.2010年5月21日.東京大学（東京都文京区）。

〔図書〕(計2件)

久我ゆかり 朝倉書店,菌類の事典,2013, pp. 103-105.

Wasaki, J., Maruyama, H., Springer, 2011. Phosphorus in action – biological processes in soil phosphorus cycling. pp. 93-111.

6. 研究組織

(1)研究代表者

久我 ゆかり (KUGA, YUKARI)
広島大学・大学院総合科学研究科・教授
研究者番号：3 0 2 3 2 7 4 7

(2)研究分担者

和崎 淳 (WASAKI, JUN)
広島大学・大学院生物圏科学研究科・准教授
研究者番号：0 0 3 7 4 7 2 8

(3)連携研究者

齋藤 雅典 (SAITO, MASANORI)
東北大学・農学研究科・教授
研究者番号：4 0 3 5 5 0 7 9

塚本 尚義 (YURIMOTO, HISAYOSHI)
北海道大学・理学研究院・教授
研究者番号：8 0 1 9 1 4 8 5

早川 慎二郎 (HAYAKAWA, SHINJIRO)
広島大学・工学研究科・准教授
研究者番号：8 0 2 2 2 2 2 2

中村 仁 (NAKAMURA, HITOSHI)
(独)農業・食品産業技術総合研究機構・果樹研究所・主任研究員
研究者番号：8 0 3 6 0 4 4 4

山中 高史 (YAMANAKA, TAKASHI)
(独)森林総合研究所・森林微生物研究領域・研究員
研究者番号：0 0 3 4 3 7 9 9

増野 和彦 (MASUNO, KAZUHIKO)
長野県林業総合センター・特産部・特産部長
研究者番号：5 0 4 5 0 8 2 0