

令和元年6月13日現在

機関番号：12101

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16H02932

研究課題名(和文) 三宅島火山環境における土壌生成過程の微生物生態学的解析

研究課題名(英文) Microbial ecological analysis of soil genesis in the Miyakejima volcanic environment

研究代表者

太田 寛行(Ohta, Hiroyuki)

茨城大学・農学部・教授

研究者番号：80168947

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,040,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の成果は、三宅島2000年噴火堆積物をモデルとして、生態系形成の基盤である土壌生成と微生物の群集・機能との関係を解明したことである。特に、世界的にもユニークな「火山灰堆積物が急速に土壌化している地点」を発見して解析したことが独創的である。具体的には、植物体由来炭素が急激に流入して形成された土壌層位を分析して、パイオニア細菌叢の主体が無機栄養性細菌から従属栄養性細菌に遷移することを明らかにした。また、土壌化の促進に関わるパイオニア植物の根から、植物生育促進性が知られている糸状菌と細菌を分離し、荒廃地の土壌再生に応用可能なカルチャーコレクションを確立した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

研究成果の学術的意義は、三宅島2000年噴火堆積物をモデルとして、生態系形成の基盤である土壌生成と微生物の群集・機能との関係を解明したことである。特に、約160年かかると考えられていた土壌生成の過程が10年程度で起きた地点を研究対象としたことは、独創的と言える。社会的意義は、土壌化の促進に関わるパイオニア植物の根から、植物生育促進性が知られている糸状菌と細菌を分離し、荒廃地の土壌再生に応用可能なカルチャーコレクションを確立した点である。

研究成果の概要(英文)：The outcome of this study is to give a better understanding of the relationship between pioneer microbial communities and early soil genesis. To be more specific, the 2010 volcanic deposits of the island of Miyake were analyzed as a model microbial ecosystem by molecular genetic and culture-based approaches. The most unique aspect of the study was to focus on the new soil horizons formed in the upper layer of the volcanic deposit due to the large amounts of plant carbon input. The results showed the occurrence of a succession from chemolithotrophic to heterotrophic bacterial community along with soil carbon accumulation. Further, rhizospheric and root-endophytic fungi and bacteria were isolated from the pioneer plant, which will be a good culture collection useful for environmental rehabilitation for volcanic eruption-affected lands.

研究分野：土壌微生物生態学

キーワード：土壌学 微生物生態学 生物地球化学 環境再生 火山噴火

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

土壌生成は、風化作用に生物の作用が加わった過程と考えられている。土壌生成過程の尺度として“全炭素量”がある。図1には、火山噴火堆積物と氷河の退氷部土壌における全炭素量のタイムコースを示した。その全炭素量を地表に現れた時間に対してプロットして、累乗回帰をとると、 $y = 0.0378x^{1.048}$ ($r^2 = 0.67$; x , 時間(年); y , 全炭素量または有機炭素量)という関係が得られる。有機物が少ない環境土壌(全炭素量、約1%)の場合、この式から、1%に達するには約160年かかることになる。これが、炭素量の蓄積からみた土壌生成の大まかなスピードと言える。

本研究代表者らは、三宅島2000年噴火堆積物の微生物学的な分析を続けてきた(King *et al.*, 2008; Sato *et al.*, 2009; 藤村ら, 2011; Fujimura *et al.*, 2012; Guo *et al.*, 2014; 太田ら, 2015)。三宅島雄山山頂付近のOY地点(標高553m)の堆積物は2000年の大噴火以降も続く火山ガス噴出の影響で環境が酸性化し、植生の回復が見られず、堆積物の土壌化が観察されていない。この地点の堆積物について、これまでに分かったことは、OY地点の堆積物は酸性(pH3)が維持され、その環境で選択的に定着する最初の微生物(パイオニア微生物)は、好酸性の偏性無機独立栄養性の鉄酸化細菌である。鉄酸化細菌はCO₂固定とN₂固定の活性を持っており、噴火堆積物の炭素と窒素の初期蓄積に寄与すると推察される。また、噴火堆積後10年間の過程で、鉄酸化細菌は種レベルで遷移する。主要な窒素固定細菌は、少なくとも堆積後6年の時点で、鉄酸化細菌から従属栄養細菌に遷移する。

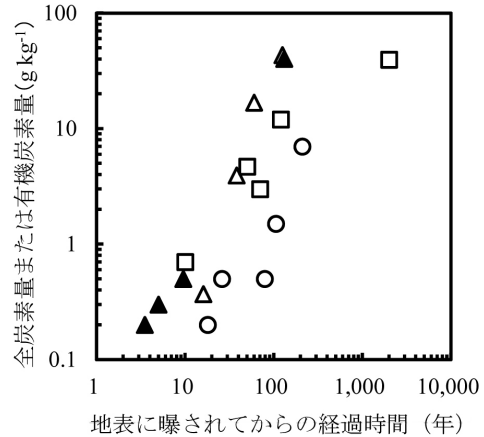


図1 火山噴火堆積物と氷河退氷部の全炭素量のタイムコース。△、ハワイ・キラウエア火山の噴火堆積物(King, 2003); □、三宅島火山の噴火堆積物(Fujimura *et al.*, 2012); ○、三宅島火山の噴火堆積物(Kato *et al.*, 2005); ●、スイス・ダンマ氷河の退氷部(Brankatschk *et al.*, 2011)。

2. 研究の目的

三宅島2000年噴火は島内森林地帯の60%以上被害を与えたが、火山ガスの影響が小さい地点(地点名、IG7、IG8、IG9)では植生の回復が起こっている。我々は、そのような地点の2000年噴火堆積物の微生物群集構造を経時的に解析してきた(Guo *et al.*, 2014)。また、パイオニア植物(ハチジョウススキ)の根圏微生物群集についても解析を行ってきた(Guo *et al.*, 未発表)。これらの結果を総合すると、三宅島火山環境における土壌生成では、地上部の植物生育に応答する特定の細菌グループ(*Proteobacteria* 門, *Acidobacteria* 門)の動態が鍵となることが分かってきた。火山ガスの影響が小さいIG9地点(標高338m)は、ハチジョウススキやオオバヤシャブシなどの植生回復が著しく、それに相関するように、その地点での2000年火山噴火堆積物の全炭素量(%)は、0.03(2009年)→0.07(2011年)→0.74(2014年)と増加した。さらに、2014年の土壌断面調査では、A層とB層の形成(すなわち、土壌化)が確認された(図2)。

本研究は、この土壌層位形成が確認された地点の試料をモデル材料にして、土壌生成過程における微生物群集の関与による物質代謝系の成立機序を明らかにすることを目的としたものである。

3. 研究の方法

標高傾度に沿ってパッチ状の草本から低木林の段階に達する2地点(OY、IG7、IG9)の2000年噴火由来火山灰堆積物を分析した。調査項目は、植生調査、堆積物の化学分析・微生物群集解析・メタゲノム解析・生物活性測定である。土壌化はパイオニア植物の侵入によって加速される。OY地点のパイオニア植物であるハチジョウススキの根圏微生物も分析した。

4. 研究成果

新たに形成された土壌層位の細菌群集構造の解析

2014年の調査で土壌化が観察されたIG9地点の火山灰堆積物(C層、C-14)と土壌化した層(A層、A-14)の試料に加えて、当研究室が保有する2009年と2011年に採取した試料(C-09、C-11)と、2015年と2016年に採取した試料(C-15、A-15; C-16、A-16)を解析した。まず、全炭素量(%)は、C層で、2014年に急激な一過的な増加が見られた:0.03(C-09) 0.09(C-11)

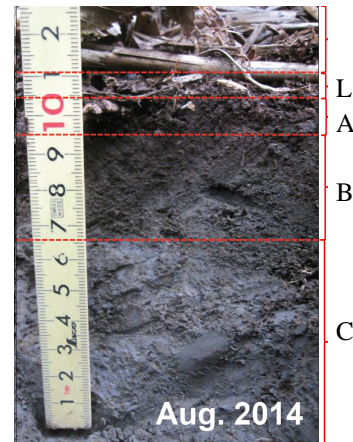


図2 三宅島IG9地点の土壌断面。2011年の時点では、堆積物層(C層)のみで、層位形成は確認されなかった。2014年8月の調査では、C層の上部にL層、A層、B層の形成が確認された。

0.67 (C-14) 0.10 (C-15) 0.13(C-16)。一方、A層が検出された2014年の試料では、C-11と比べると90倍の炭素含量の上昇があり、翌年以降減少した：8.07 (A-14) 5.69 (A-15) 1.36 (A-16)。細菌叢を解析すると、C層とA層の両方で、*Acidobacteria* 門と *Alphaproteobacteria* 綱の割合が高かった。詳細に見ると、A-15で優占した *Alphaproteobacteria* 綱が翌年以降に漸減するのを補完するように、*Betaproteobacteria* 綱の割合が増加した。特に、その中の *Oxalobacteraceae* 科の一過的な増加が特徴的であった。炭素循環の観点で、RubisCOの遺伝子(*rubL*)を調べた結果では、供試試料のなかでC-09が他と比べて高い割合を示し、先の研究での植生のない地点の様相と類似していた。窒素循環系の遺伝子のなかで、硝化以外の遺伝子は、全試料で検出された。今回のメタゲノム解析では、ほとんどの試料で硝化系の遺伝子が検出されなかった。これは三宅島のような環境では硝化系の回復が遅いことが示唆された。

パイオニア植物(ハチジョウススキ)の根圏および根内の微生物の分離

ハチジョウススキがパイオニア植物になる特徴の一つとして、植物根圏が窒素固定活性を持ち、窒素固定微生物と共生していることを明らかにした。さらに、根圏細菌を分離し、*Burkholderia* 属の細菌と *Duganella* 属の新種と同定される細菌が主要であることを示した。分離菌株の窒素固定活性は現在解析中である。根内微生物(エンドファイト)については、リン溶解活性や窒素固定活性が報告されている *Pseudomonas* 属細菌と、植物の生育促進作用が知られている糸状菌エンドファイトである *Phialocephala fortinii* のグループを分離した。これらの分離株は、荒廃地の再生に利用できる有用な微生物資材として期待された。

土壌層位環境の変化に伴う細菌群集構造の解析

先に述べたように、IG9地点は、堆積後14年でC層の表層部がA層(全炭素量、8.07%)に変化し、その後の2年間で全炭素量が1.36%に減少した。2017~2018年の調査では、再び全炭素量が8.0%にまで上昇した。この上昇が観察された試料のメタゲノム解析の結果では、A層で従属栄養性の *Alphaproteobacteria* 綱、C層では硝化性古細菌である *Thaumarchaeota* が主要であった。さらに、A層ではアミノ酸等の有機物の分解経路に関わる CDS (Coding Sequence) 数がC層に比べて多く、A層での有機物分解で生じる無機態窒素がC層に移行して、*Thaumarchaeota* に利用されていることが推察された。この結果は、土壌生成と窒素循環系の始動に硝化性古細菌が大きく関わっている可能性を初めて示したものである。

土壌生成過程における細菌の遷移

Acidobacteria 門の細菌は土壌に固有のグループであり、高い割合で土壌に生存していることが知られている。Fiererら(2007)は、米国の様々な土壌71種類を分析して、*Acidobacteria* 門の細菌は低栄養性細菌(oligotrophs)であり、*Betaproteobacteria* 綱や *Bacteroidetes* 門は高栄養性のグループ(copiotrophs)であることを報告した。しかし、*Betaproteobacteria* 綱の中には独立栄養性の硝化細菌も含まれるので、必ずしも *Betaproteobacteria* 綱のすべてが copiotrophs とは言えない。ここで、Fiererら(2007)の論考にしたがって、これまでに報告されている火山噴火堆積物や土壌の細菌分析データから、*Acidobacteria* 門の存在量に対する *Betaproteobacteria* 綱の存在量の割合(B/A比)を計算し、全炭素量(TC)または全有機炭素量(TOC)に対してプロットした結果を図3に示した。図中の点線はそのプロットの近似直線である： $y = 0.76 x^{-0.58}$ ($r^2 = 0.661$)、ここで、 y は B/A 比、 x は TC or TOC)。プロットから明らかなように、TCが小さくなるにつれてB/A比は上昇する。TCが非常に低い試料(三宅島及びムラピ火山)の *Betaproteobacteria* 綱の菌種構成は、大気中の微量ガス(水素等)を利用できる無機栄養性細菌が主体であった。TCの上昇に伴い、風化に係るグループの *Betaproteobacteria* 綱(例えば、*Oxalobacteraceae* 科)にシフトし、さらに、*Burkholderiaceae* 科(*Betaproteobacteria* 綱)に遷移した。このような変化は、*Alphaproteobacteria* 綱の細菌で見られなかった(図3)。

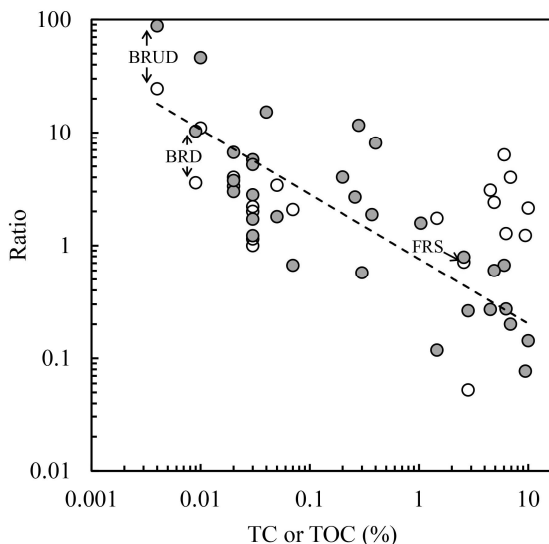


図3 氷河退水部土壌(Castle et al., 2016)、三宅島火山灰堆積物と埋没土壌(Fujimura et al., 2012; Guo et al., 2014)、ムラピ火山噴火堆積物(Lathifah et al., 2019; BRD, BRUD, FRS)、及び極地土壌(Summers et al., 2013)における全炭素(TC)または全有機炭素(TOC)と *Betaproteobacteria/Alphabacteria* 比()と *Alphaproteobacteria/Alphabacteria* 比()の関係。

結論

本研究では、通常は、約160年を要する土壌生成の過程が1/10に短縮されて進んでいる地点

を発見して解析したことが、独創的な点である。この意味で、三宅島の火山環境は世界的にもユニークな研究材料を提供していると言える。本研究によって、初成土壌生成過程では、無機栄養細菌に始まり、パイオニア植物と関係する風化促進細菌を介して、一般的な従属栄養細菌の細菌叢に至る遷移プロセスが明らかにされ、*Betaproteobacteria* 綱が、その機能を担っている主要な細菌グループとして特定された。

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

Lathifah A N, Guo Y, Sakagami N, Suda W, Higuchi M, Nishizawa T, Prijambada I D, Ohta H. “Comparative characterization of bacterial communities in moss-covered and unvegetated volcanic deposits of Mount Merapi, Indonesia”. *Microbes and Environments* 34: in press, 2019 (査読あり)

〔学会発表〕(計 18 件)

張秀龍、上條隆志、廣田 充、鄭鵬遥。「Comparison of photosynthetic traits of three pioneer species on volcanically devastated sites in Miyake-jima Island」, 第 66 回日本生態学会大会, 2019 年 (3/15-19)

浅野眞希、田村憲司、和穎朗太、向井広樹、武市泰男、高木哲一、小野寛太、菅大暉、高橋嘉夫、上條隆志。「三宅島 2000 年噴火火山灰堆積地における有機物集積の経時変化」, 日本土壌肥料学会 2018 年度神奈川大会, 2018 年 .

太田寛行、西澤智康、郭永、平野明則、上條隆志。「初成土壌形成と微生物：炭素集積と微生物群集の遷移に関する考察」, 日本土壌肥料学会 2018 年度神奈川大会, 2018 年 .

海老原諒子、平野明則、坂上伸生、太田寛行、西澤智康。「三宅島 2000 年噴火後の土壌層位形成 - 各層における化学性状の遷移 - 」, 日本土壌肥料学会 2018 年度神奈川大会, 2018 年 .

Sun H, Kamijo T, Nishizawa T, Narisawa K, Ohta H. “Isolation and characterization of endophytic microbes associated with the pioneer grass *Miscanthus condensatus* colonizing on the volcanic deposits”, 17th International Symposium on Microbial Ecology, 2018.

Lathifah A N, Hirano A, Guo Y, Nishizawa T, Kamijo T, Narisawa K, Prijambada I D, Ohta H. “Biochemical characterization of *Arthrobacter* spp. represented early colonizer on the volcanic deposits of Mt. Merapi, Indonesia and Miyake-Jima, Japan”, 17th International Symposium on Microbial Ecology, 2018.

張秀龍、上條隆志、廣田充。「Effects of volcanic nitrogen-poor habitat on photosynthetic functional traits of plants in different successional stages in Miyake volcano」, 日本生態学会第 65 回全国大会, 2018 年 .

二木隆裕、上條隆志、山路恵子。「三宅島火山荒廃地における遷移初期植物種の葉の栄養塩特性」, 植生学会第 22 回大会, 2017 年 .

張秀龍、上條隆志、廣田 充。「三宅島 2000 年噴火跡地の植生発達段階ごとのハチジョウススキの光合成特性」, 植生学会第 22 回大会, 2017 年 .

平野明則、郭永、坂上伸生、西澤智康、上條隆志、太田寛行。「三宅島火山灰堆積物に新たに形成された土壌層位のメタゲノム解析」, 日本土壌肥料学会 2017 年度仙台大会, 2017 年 .

海老原諒子、郭永、上條隆志、西澤智康、太田寛行。「三宅島初成土壌に生育するパイオニア植物根圏のニトロゲナーゼ活性と根圏の *Burkholderiaceae* 科細菌」, 日本土壌肥料学会 2017 年度仙台大会, 2017 年 .

Lathifah N A, Hirano A, Guo Y, Nishizawa T, Prijambada I D, Ohta H. “Comparative characterization of *Arthrobacter* strains isolated from the Mt. Merapi and Miyake-jima”, 環境微生物系合同大会 2017, 2017 年 .

Ebihara A, Guo Y, Kamijo T, Nishizawa T, Ohta H. “Colonization of *Burkholderia* groups on the rhizosphere of the Miyake-jima pioneer plant”, 環境微生物系合同大会 2017, 2017 年 .

張秀龍、上條隆志、廣田充。「三宅島の火山荒廃地におけるハチジョウススキの光合成特性に関する研究」, 日本沙漠学会 2017 年第 28 回学術大会, 2017 年 .

海老原諒子、平野明則、郭永、西澤智康、上條隆志、太田寛行。「三宅島初成土壌に生育するパイオニア植物根圏のニトロゲナーゼ活性と根圏細菌の解析」, 日本微生物生態学会第 31 回横須賀大会, 2016 年 .

Hirano A, Guo Y, Nishizawa T, Kamijo T, Ohta H. “Interactions between microbial community and soil formation in the volcanic island, Miyake-jima, Japan”, 8th Asian Symposium on Microbial Ecology, 2016.

平野明則、郭永、西澤智康、上條隆志、成澤才彦、太田寛行。「三宅島火山灰堆積物で形成された土壌層位における微生物群集構造解析」, 日本土壌肥料学会 2016 年度佐賀大会, 2016.

Kamijo T, Mori Y, Kadokura, Hashimoto H, Yamaji K, Minamiya Y, Kaneko N. “Colonization of two early successional plant species with different nitrogen usage affects abundance of soil animals and herbivorous insects, and ecosystem process on volcanic deserts in Miyake-jima Island, Japan”. II International Conference on Island Evolution, Ecology, and Conservation, 2016.

〔図書〕(計1件)

太田寛行、『土壌生成と微生物』、土壌微生物学(豊田剛己編) pp. 1-6, 2018、朝倉書店、東京

6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：上條 隆志

ローマ字氏名：KAMIJO TAKASHI

所属研究機関名：筑波大学

部局名：生命科学系

職名：教授

研究者番号(8桁)：80168947

研究分担者氏名：西澤 智康

ローマ字氏名：NISHIZAWA TOMOYASU

所属研究機関名：茨城大学

部局名：農学部

職名：准教授

研究者番号(8桁)：40722111

研究分担者氏名：成澤 才彦

ローマ字氏名：NARISAWA KAZUHIKO

所属研究機関名：茨城大学

部局名：農学部

職名：教授

研究者番号(8桁)：90431650

(2)研究協力者

研究協力者氏名：Gary M. King

研究協力者氏名：Irfan D. Prijambada

研究協力者氏名：平野 明則

ローマ字氏名：HIRANO AKINORI

研究協力者氏名：海老原 諒子

ローマ字氏名：EBIHARA AKIKO

研究協力者氏名：孫 寒

ローマ字氏名：SON KAN

研究協力者氏名：Annisa N. Lathifah