

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 8 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24580212

研究課題名(和文)火山灰堆積地の生態系回復における化学的改變者と物理的改變者の効果

研究課題名(英文) Effects of physical ecosystem and chemical ecosystem engineers on recovery of ecosystem on volcanic deposits

研究代表者

上條 隆志 (KAMIJO, Takashi)

筑波大学・生命環境系・教授

研究者番号：10301079

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：窒素固定植物は生態系の化学的改變者として土壤に窒素を付加し、陸生大型ミミズは物理的改變者として土壤生成を促進する。三宅島2000年噴火火山灰上において窒素固定種とミミズの相互関係と両者が土壤生成に与える効果を検討した。オオバヤシャブシ(窒素固定種)とハチジョウススキのパッチ下のミミズと土壤を比較した結果、ミミズの密度や窒素含量はオオバヤシャブシ下で高く、土壤硬度はミミズの個体数に対して低下した。ミミズの飼育実験を行った結果、火山灰への有機物の混入が確認された。火山灰上において、窒素固定種はミミズに正の効果および、ミミズは火山灰の土壤生成を促進することが示唆された。

研究成果の概要(英文)：Nitrogen-fixing plants supply soils with N and play important role as chemical ecosystem engineers. Earthworms improve soil properties as physical ecosystem engineers. We examined interaction between N-fixing trees and earthworms and effects of these two on fresh volcanic ash deposits formed by the 2000-year eruption of Miyake-jima. Earthworms and soils were sampled under canopies of non N-fixing *Miscanthus condensatus* and *Alnus*. Earthworm density and soil N content were higher under *Alnus*. Soil hardness decreased with earthworm density. Results of  $^{13}\text{C}$  and amount of litters showed that earthworm ingested litter of *Alnus* preferentially. A feeding experiment using ash, litters and earthworms was conducted. Mixture of organic matter and mineral particles was observed in the experimental group with an earthworm. It is suggested that *Alnus* effects abundance and feeding behavior of earthworms, and earthworms have significant effects on soil formations.

研究分野：森林生態学

キーワード：ミミズ 火山 遷移 窒素固定 生態系改變者 安定同位体 土壤生成 三宅島

### 1. 研究開始当初の背景

生態系の発達過程において、特定の種や機能群が生態系の構造と機能を改変し、急速な変化を引き起こす場合がある。2000年に噴火した伊豆諸島三宅島では、窒素固定力を持つ遷移初期植物であるオオバヤシャブシが分布し、窒素不足となる火山噴出物上に窒素を付加するため遷移の促進機能を持つとされる (Kamijo et al. 2002)。一方、陸生大型ミミズは、生態系の物理的改変者であり、摂食・排糞等を通じて、土壌生成を促進することが指摘されている (金子 2007 など)。窒素不足にある火山遷移初期において、このようなオオバヤシャブシとミミズがそれぞれ単独で生態系を改変するのではなく、相互に関係しながら生態系を改変している可能性がある。すなわち、オオバヤシャブシの侵入がミミズに対して正の作用を持ち、急速な生態系の回復に結びついている可能性がある。

### 2. 研究の目的

三宅島 2000 年噴火により形成された新鮮火山灰堆積地上の生態系初期形成過程における、窒素固定樹木であるオオバヤシャブシ (ここでは、化学的改変者と位置付ける) と土壌の物理的改変者である陸生大型ミミズ類との関係に焦点を当て、遷移初期植物とミミズの関係、ミミズと遷移初期植物が土壌生成に与える効果について検討することを目的とする。

### 3. 研究の方法

#### (1) 三宅島内のミミズの広域分布調査

三宅島全域に 17 地点の調査区を設置し、1 調査区につき 5 ヶ所で、25cm x 25cm x 40cm の範囲の土壌を採取し、ハンドソーティング法を用いてミミズを採集した。採集したミミズの同定については、横浜国立大学の南谷幸雄博士に依頼した。

#### (2) 遷移初期植物とミミズの関係

##### 調査地

調査地は三宅島北西の中腹部とした。ここは 2000 年噴火直後、裸地化した地域であり (山西ほか 2003)、火山灰の堆積深は 20cm ~ 37cm である (川越ほか 2011)。現在はハチジョウススキ草原 (MS) とオオバヤシャブシ低木林 (AL) にまで回復し、ハチジョウススキ草原が高標高側に分布する。現地調査は各群落内のハチジョウススキパッチ下とオオバヤシャブシパッチ下で行った。従って、MS のハチジョウススキパッチ下 (MM) とオオバヤシャブシパッチ下 (MA)、AL のハチジョウススキパッチ下 (AM) とオオバヤシャブシパッチ下 (AA) の計 4 条件下で調査を行った (図 1)。

##### ミミズ調査、土壌のサンプリング

ミミズの調査は MM で 13 地点、MA で 8 地点、AM で 10 地点、AA で 10 地点、計 41 地点で行った。25cm 四方の枠の火山灰を 20cm まで掘

り取り、ハンドソーティング法によりミミズを採取した。ミミズ採集地点において、土壌分析のため土壌のサンプリングを行った。

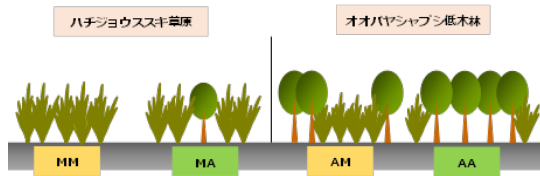


図 1 ミミズのサンプリングデザイン。

#### 解析方法

植物がミミズに与える影響を説明するために一般化線形モデル (GLM) を使用した。応答変数はミミズの個体数、説明変数は群落 (ハチジョウススキ草原, オオバヤシャブシ低木林) とパッチ (ハチジョウススキパッチ下, オオバヤシャブシパッチ下) とした。植物とミミズが、新鮮火山灰の土壌生成に与える影響については、応答変数を新鮮火山灰の土壌特性とし、説明変数は、群落、パッチ、ミミズの個体数とした。

#### (3) 安定同位体分析によるミミズの餌資源の推定

安定同位体分析に使用するミミズの採集は、前述の MS の MM, MA そして AA の計 3 条件下で行った (図 1)。調査地点および地点数は MM で 9 地点、MA で 9 地点、AA で 5 地点とした。反復は 1 地点につき 4 回とした。ミミズの分析には死亡個体を除いた全個体を用いた。分析に使用したミミズは MM で 3 匹、MA で 2 匹、AA で 16 匹であった。ミミズは絶食状態で胃内容物が空になった後、熱湯で処理した。

ミミズと同様に餌候補の植物であるオオバヤシャブシとハチジョウススキの生葉をサンプリングした。植物試料は、(2 日間以上) オープンで乾燥後、地点別にまとめて小型粉砕機で粉砕し分析試料とした。

いずれの試料も凍結乾燥後、小型粉砕機で粉砕し、分析試料とした。安定同位体分析には全自動安定同位体質量分析システム (ANCA-GSL) を用いた。

本研究で用いる安定同位体比は以下のように示される。

$$(\text{‰}) = ((R \text{ sample} / R \text{ standard}) - 1) \times 1000$$

ここで R は  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  比または  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$  比、Rsample はサンプルの  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  比または  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$  比、Rstandard は標準物質の  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  比または  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$  比を示す。炭素安定同位体比は、C3 植物では - 25 ~ - 35‰, C4 植物では - 10 ~ - 15‰ となる (米山・笹川 1994)。本研究の調査地の優占種であるオオバヤシャブシ、ハチジョウススキはそれぞれ C3 植物、C4 植物であり、炭素安定同位体比が異なるため、これ

を利用して、ミミズが利用している餌の炭素源の相対的な割合を求めることができる(例、Peterson & Fry 1987)。なお、本研究では炭素安定同位体の濃縮係数は1.0‰とした。

ミミズが利用しているオオバヤシャブシとハチジョウススキの割合を、オオバヤシャブシの推定寄与率として、ミミズの炭素安定同位体比の値を用いて算出した。推定寄与率を求める際には以下の式を用いた。

$$\text{オオバヤシャブシの推定寄与率} = \frac{({}^{13}\text{C}_{\text{mis}} - {}^{13}\text{C}_{\text{worm}} - 1.0)}{({}^{13}\text{C}_{\text{mis}} - {}^{13}\text{C}_{\text{alu}})}$$

ここで、 ${}^{13}\text{C}_{\text{alu}}$ はミミズに対するオオバヤシャブシの推定寄与率、 ${}^{13}\text{C}_{\text{worm}}$ は、濃縮係数を考慮したミミズの ${}^{13}\text{C}$ の値、 ${}^{13}\text{C}_{\text{mis}}$ はハチジョウススキの ${}^{13}\text{C}$ の値、 ${}^{13}\text{C}_{\text{alu}}$ はオオバヤシャブシの ${}^{13}\text{C}$ の値、1.0‰は炭素安定同位体比の濃縮係数である。

餌資源量の推定のためのリターの採取は、ミミズの採集と同時にを行った。ミミズの採集で使用した25cm四方の枠を使用し、枠内全てのリターを採取し、ハチジョウススキとオオバヤシャブシのリター量を求めた。

#### (4) 餌に関する飼育実験

餌としての植物種の違いがミミズの生存に与える影響を明らかにするために、飼育実験を行った。飼育期間は2014年10月2日から12月5日までの65日間とした。使用したミミズは、調査地付近で採集されたフトミミズ科の一種であり、火山灰は調査地の南部の裸地で採集したものをを使用した。処理は、ハチジョウススキのリター(MIS)、オオバヤシャブシのリター(AL)、ハチジョウススキとオオバヤシャブシのリター(MISAL)を用いた3通りとした。各容器にミミズ1匹を入れた。反復は各処理で10反復とした。

#### (5) 土壌生成に関する飼育実験

##### 飼育実験

ミミズが火山灰の土壌生成に与える影響を明らかにするために、飼育実験を行った。飼育期間は2014年3月29日~2014年8月4日前後である。処理は4つであり、ミミズ+火山灰+土壌+オオバヤシャブシリター+ハチジョウススキリター(ELSA)、ミミズ+火山灰+オオバヤシャブシリター+ハチジョウススキリター(ELS)、火山灰+土+リター+ハチジョウススキリター(LSA)、火山灰(A)とした。反復はALSAで9反復、ELAで8反復、LSAで7反復、Aで6反復とした。飼育は市販の中型プラスチック容器を用いた。ミミズは極端に小さいものは除き、同じ大きさのものを選定して実験に使用した。

##### 土壌微細形態の観察

微細形態観察のための樹脂サンプルを作成した。数は各処理で1つとした。まずサンプルは、液体窒素で瞬間的に乾燥させた後、

凍結乾燥させた。樹脂サンプルの作成のため、ポリエステル樹脂A液とB液、葉さじ1杯分の重合促進剤(BPO)(株式会社マルトー製)を混ぜたものをサンプルにかけ含浸させた。

#### 4. 研究成果

##### (1) ミミズの分布と植生の関係

採集されたミミズは2科10種(フトミミズ科(フィリピンミミズ、フキソクミミズ、フタツボシミミズ、ヒナフトミミズ、イロジロミミズ、ハワイミミズ、ヘンイセイミミズ、メキシコミミズ、ヒトツモンミミズ)、ツリミミズ科(サクラミミズ))であった。植生との関係を見てみると、スダジイ林でミミズ個体数は最も多く、タブノキ・オオバヤシャブシ林ではスダジイ林よりは少ないが生息が確認された。ハチジョウススキ・ヒサカキ低木林ではミミズはほとんど確認されなかった。

##### (2) オオバヤシャブシとハチジョウススキがミミズの分布に与える影響及び土壌改変効果

オオバヤシャブシとハチジョウススキがミミズの個体数に与える影響

単位面積あたりのミミズの個体数はMMで4匹/m<sup>2</sup>、MAで10匹/m<sup>2</sup>、AMで26匹/m<sup>2</sup>、AAで71匹/m<sup>2</sup>であり、AAにおけるミミズの個体数は、同じオオバヤシャブシ低木林内にあるAMの2倍以上であった(図2)。

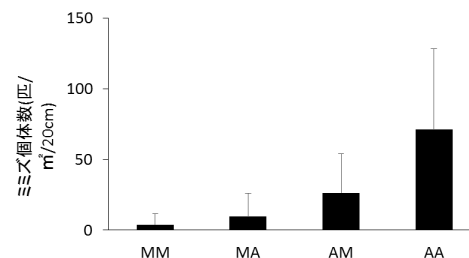


図2 各群落、各パッチ下におけるミミズの個体数

GLM解析の結果、ミミズの個体数に対し、植物群落とパッチが選択された。サイトの係数の値はハチジョウススキ草原に対しオオバヤシャブシ低木林が1.99であり、植物種の係数の値は、ハチジョウススキパッチ下に対しオオバヤシャブシパッチ下が0.97であった。

##### ミミズと植物が火山灰の土壌生成に与える影響

全窒素量は両群落においてハチジョウススキパッチ下よりもオオバヤシャブシパッチ下で多かった(図3、GLM、係数=0.54、p<0.05)。また、全炭素量も同様の結果だった。

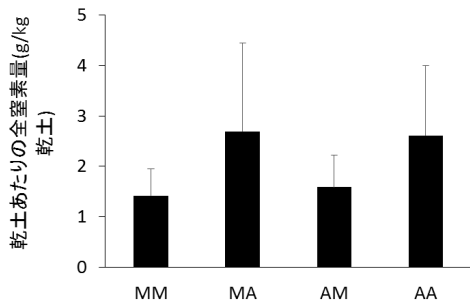


図3 各植生各パッチ下における火山灰の全炭素量

容積重に関する GLM 解析の結果、植生とミミズの影響は見られなかった。

土壌硬度は両群落においてハチジョウススキパッチ下よりもオオバヤシャブシパッチ下で低い値であった(図4)。土壌硬度に対し係数は、オオバヤシャブシパッチ下が有意に負に選択されていた(GLM, 係数= -0.26,  $p < 0.01$ )。さらにミミズの個体数が有意に負に選択されており(GLM, 係数= -0.01,  $p < 0.05$ )、ミミズの個体数が多いほど硬度は低くなることが示された(図5)。

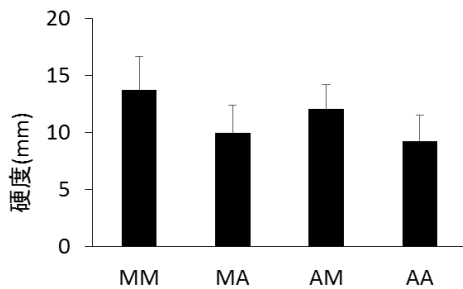


図4 各植生各パッチ下における火山灰表層の土壌硬度

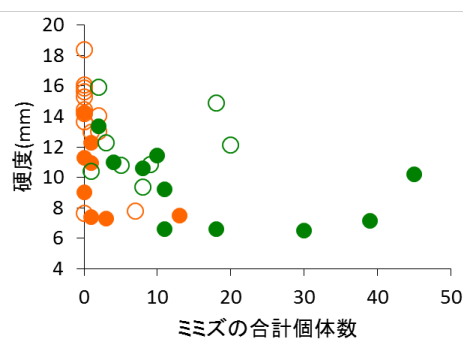


図5 土壌硬度とミミズの個体数との関係  
 緑：ハチジョウススキ草原、オレンジ：オオバヤシャブシ低木林、塗りつぶし：オオバヤシャブシパッチ、白抜き：ハチジョウススキパッチ

### (3) 安定同位体分析に基づく餌資源利用

ハチジョウススキ草原内のオオバヤシャブシの  $^{13}\text{C}$  の値は、それぞれ  $-29.63 \pm 0.01\text{‰}$  であり、ハチジョウススキの  $^{13}\text{C}$  の値は、それぞれ  $-12.24 \pm 0.03\text{‰}$  であった。オオバヤシャブシ低木林内のオオバヤシャブシの  $^{13}\text{C}$  の値は  $-28.78 \pm 0.12\text{‰}$  であり、ハチジョウススキの  $^{13}\text{C}$  の値は  $-12.20 \pm 0.07$  であった。いずれの採取地点においても両種の値は異なった(図6)。

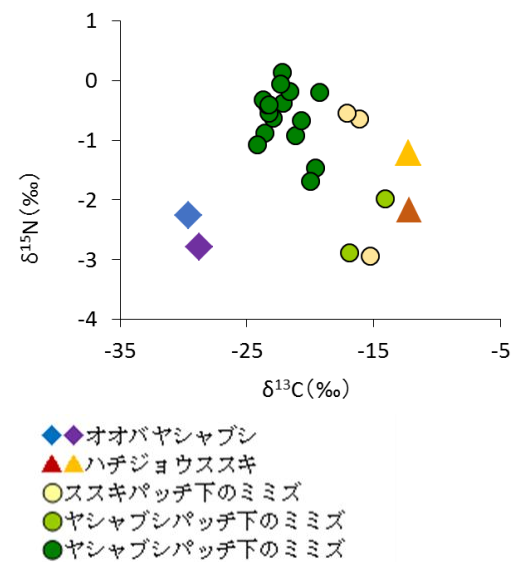


図6 オオバヤシャブシ、ハチジョウススキ、ミミズの安定同位体比プロット図

ミミズの安定同位体比の値は、ハチジョウススキとオオバヤシャブシの間に位置した(図6)。ハチジョウススキ、オオバヤシャブシ、ミミズの炭素安定同位体から算出した、ハチジョウススキ草原とオオバヤシャブシ低木林におけるミミズに対するオオバヤシャブシの推定寄与率と、オオバヤシャブシのリター割合を図7に示した。

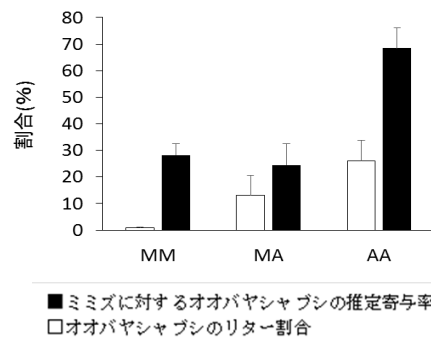


図7 ミミズの餌に対するオオバヤシャブシの推定寄与率ならびにオオバヤシャブシのリター割合。MM：ハチジョウススキ草原ハチジョウススキパッチ下。MA：ハチジョウススキ草原オオバヤシャブシパッチ下。AA：オオバヤシャブシ低木林オオバヤシャブシパッチ下

まず、リター割合と寄与率を比較すると、オオバヤシャブシのリター割合は、ハチジョウススキ草原内の MM、MA からオオバヤシャブシ低木林内の AA に移るに従い増加した。それに伴いミミズに対するオオバヤシャブシの推定寄与率もハチジョウススキ草原内の MM、MA からオオバヤシャブシ低木林内の AA に移るに従い増加した。一方、いずれの条件下においても現存するオオバヤシャブシのリター中の割合よりも、安定同位体から算出したオオバヤシャブシの推定寄与率の方が高かった。

#### (4) 餌に関する飼育実験

ミミズは実験終了時までには MIS の全処理で死亡した。一方、AL の処理では 1 匹、MISAL の処理では 2 匹、生存個体が確認された。生存が確認されたのは、いずれもオオバヤシャブシのリターを加えた場合であり、本種のリターがミミズにとって、重要な餌資源である可能性が示唆された。しかし、ミミズの死亡個体が多く、例数が少ないため、今後、追加実験が必要である。

#### (5) 土壌生成に関する飼育実験

樹脂サンプルを用いて、土壌微細形態を観察した。ミミズ+火山灰+オオバヤシャブシリター+ハチジョウススキリター(ELS)、火山灰(A)に関する土壌微細形態の写真を図 8、9 に示す。ミミズを生育させた場合(図 9)には、火山灰内に有機物の混入が確認された。

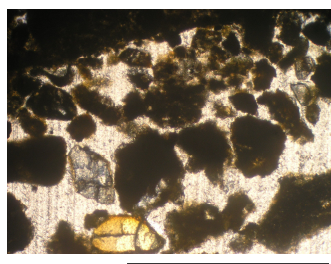


図 8 ミミズを飼育しなかった場合(火山灰)の土壌微細形態(バーは長さ 1mm)

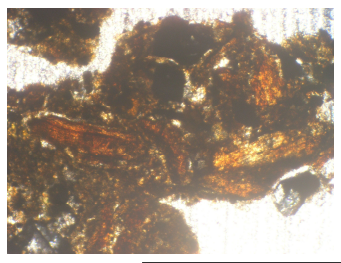


図 9 ミミズを飼育した場合(ミミズ+火山灰+オオバヤシャブシリター+ハチジョウススキリター)の土壌微細形態(バーは長さ 1mm)

#### (6) まとめ

ミミズに対するオオバヤシャブシの定着の効果

特定の植物がミミズや他の土壌動物の分布に影響することはこれまでも知られている(Warren & Zou 2002 など)。本研究においても、両サイトのオオバヤシャブシ下においてミミズの個体数が多かったことから N 固定種であるオオバヤシャブシの侵入がミミズの増加を促進していると考えられる。これはオオバヤシャブシのリターの高い N 濃度(東ほか未発表)が関係していると考えられる。さらに、現存するオオバヤシャブシのリターの割合よりも、ミミズの安定同位体から算出したオオバヤシャブシの推定寄与率の方が高かった。リター現存量を餌の資源量を反映していると仮定すると、ミミズは葉の窒素含量が高いオオバヤシャブシのリターないしリター起源の有機物を選択的に摂食していると考えられる。すなわち、質の異なるリターの供給はミミズの摂食行動を変化させ、オオバヤシャブシを選択的に摂食していることが示唆された。

#### ミミズが土壌特性に与える影響

全窒素量、全炭素量は両サイトのオオバヤシャブシパッチ下で多い結果となった。これは、オオバヤシャブシのリターの効果によると考えられる。一方、リターが有機物として土壌に蓄積されるまでには、リターを分解する土壌動物の作用が加わる。窒素含有率の高い植物は分解者に利用されやすく、オオバヤシャブシパッチ下では、ミミズや他の小型中型土壌動物がリターの分解に寄与し、火山灰への蓄積を促進した可能性がある。

土壌物理性については、土壌硬度についてオオバヤシャブシとミミズの効果が確認された。土壌硬度は、土壌の粒径組成、孔隙量、水分量などの状態が総合化されたものとして現れ、土壌動物や微生物の生息に密接に関係するとされる(安西 2001)。ミミズ個体数が多いほど、土壌硬度が低下しており、土壌表層の物理性の改善にミミズが関与していると考えられる。また、土壌微細形態の観察結果によると、火山灰への有機物の混入が確認され、ミミズの摂食、排糞、移動といった活動が直接的に火山灰の土壌生成に寄与していることが示唆された。

以上、本研究の成果により、火山灰上において、窒素固定種はミミズに正の効果を及ぼし、ミミズは火山灰の土壌生成を促進することが示唆された。

#### 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 0 件)

〔学会発表〕(計 8 件)

門倉由季・井本朱香・橋本啓史・南谷幸雄・金子信博・上條隆志．火山遷移初期におけるオオバヤシヤブシとハチジョウススキの侵入が陸生大型ミミズと土壤へ与える効果．日本生態学会第 62 回大会．2015 年 3 月 19 日．鹿児島県鹿児島市、鹿児島大学．

井本朱香・門倉由季・南谷幸雄・金子信博・上條隆志．三宅島 2000 年噴火後の植生被害・回復経度と陸生大型ミミズ個体数の関係．日本生態学会第 62 回大会．2015 年 3 月 19 日．鹿児島県鹿児島市、鹿児島大学．

上條隆志．火山遷移に伴う森林発達と環境形成性．日本生態学会第 62 回大会．2015 年 3 月 19 日．鹿児島県鹿児島市、鹿児島大学．

Kadokura Y., Hashimoto, H., Kaneko, N., & Kamiyo, T. Effect of nitrogen fixing tree on abundance and feeding behavior of earthworm in early stage of volcanic succession. 57<sup>th</sup> Annual Symposium of the International Association for Vegetation Science. 1 September 2014. The University of Western Australia, Perth, Western Australia, Australia.

門倉由季・上條隆志・加藤和弘．三宅島の火山灰堆積地における遷移初期植物の侵入が中大型ミミズの分布に与える影響．日本生態学会第 61 回大会．2014 年 3 月 16 日．広島県広島市、広島国際会議場．

門倉由季・上條隆志・橋本啓史・金子信博．三宅島火山灰堆積地における中大型ミミズの分布と安定同位体による餌資源の推定．植生学会第 18 回大会．2013 年 10 月 13 日．宮城県仙台市、仙台市戦災復興記念館．

門倉由季・上條隆志・橋本啓史・金子信博・菅原優．三宅島の火山灰堆積地に侵入した遷移初期植物と中大型ミミズの関係．日本生態学会第 60 回大会．2013 年 3 月 7 日．静岡県静岡市、静岡県コンベンションアーツセンター．

菅原優・上條隆志・吉田智弘・黛絵美・門倉由季・加藤和弘．三宅島 2000 年噴火後の植生発達と植物リター分解及び土壤動物相の関係．日本生態学会第 60 回大会．2013 年 3 月 6 日．静岡県静岡市、静岡県コンベンションアーツセンター．

## 6．研究組織

### (1)研究代表者

上條 隆志 (KAMIJO, Takashi)  
筑波大学・生命環境系・教授  
研究者番号：10301079

### (2)研究分担者

橋本 啓史 (HASHIMOTO, Hiroshi)  
名城大学・農学部・助教  
研究者番号：30434616

田村 憲司 (TAMURA, Kenji)  
筑波大学・生命環境系・教授

研究者番号：70211373

### (3)連携研究者

金子 信博 (KANEKO, Nobuhiro)  
横浜国立大学・大学院環境情報研究院・教授  
研究者番号：30183271