

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年5月24日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21580173

研究課題名（和文） 三宅島2000年噴火火山灰堆積物上の初期炭素蓄積過程

研究課題名（英文） Early stage of carbon accumulation on volcanic ash deposits of the 2000 year eruption in Miyake-jima Island

研究代表者

上條 隆志（KAMIJO TAKASHI）

筑波大学・生命環境系・准教授

研究者番号：10301079

研究成果の概要（和文）：

火山灰堆積物上の初期炭素蓄積過程を明らかにすることを目的とした。植生の発達程度の異なる3調査区を設定した。噴火後11年間の植物体、リター、土壌の炭素蓄積量は132-4502、19-1067、212-1047 gm^{-2} となった。土壌に比べ、植物の炭素蓄積速度が速いこと、分解系が未発達なためリター蓄積量が多いことが示された。推定された土壌呼吸速度は、植生発達と対応した。土壌断面調査では、11年間で低木林化した地点でA層の形成が確認された。

研究成果の概要（英文）：

Three plots along vegetation development are conducted to demonstrate early stage of carbon accumulation on 11 years old volcanic ash deposits. Carbon amounts of vegetation, litter and soil were 132-4502 gm^{-2} , 19-1067 gm^{-2} and 212-1047 gm^{-2} . Rates of carbon accumulation of vegetation were higher than those of soils because of undeveloped decomposition systems. Estimated carbon fluxes of soils corresponded to vegetation development. Formation of A horizon was observed in the most developed shrub stage vegetation.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2010年度	800,000	240,000	1,040,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：林学 ・ 林学・森林工学

キーワード：陸上生態系、炭素蓄積、火山、遷移、三宅島、土壌、裸地、伊豆諸島

1. 研究開始当初の背景

陸上生態系は植生系と土壌系からなり、有機物、すなわち主に炭素からなる鉛直的な構造を持つ。そして、植生系と土壌系は相互に作用し合いながら、陸上生態系を維持あるいは発達させてゆく。しかし、その多くの研究は、すでに成立した生態系を対象としており、時系列的な研究に関して木伐採のような植生系のみを除去に限られていることが多い。

一方、陸上生態系に最も強いインパクトを与える自然攪乱の一つである火山活動は、そのインパクトが強い場合、植生系だけでなく、土壌系も破壊する。そして、裸地化した地表面では、生物と無機的環境との相互作用により新たな陸上生態系が再生することとなる。陸上生態系がリセットされた地表面で生じる生物学的な現象ならびに炭素蓄積過程を記述することは、陸上生態系に関する基礎的

理解を深める上で必要不可欠である。

2. 研究の目的

伊豆諸島三宅島は 2000 年に大噴火し、直径 1.5km、深さ 500m の新火口を形成した。新火口からの火山灰の放出は 2000 年以降、ほぼ終息しているが、二酸化硫黄を含む火山ガス放出は続いている。これら一連の噴火活動により島の陸上生態系は多大な影響を受け、山頂部から中腹部にかけて広大な無植生地が形成された。

本研究では、火山灰堆積によって植生と土壌を失った地表面から生態系がどのように形成されてゆくかを、炭素蓄積過程を中心に明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 炭素蓄積量の変化

・調査地設定

研究対象地点は、三宅島西部の伊ヶ谷地区に 2007 年に設けられた 3 つの固定調査区 (IG7、IG8、IG9) とした。山西ほか(2003)によると、衛星データから算出した植被率の推定結果では、これらの 3 地点はいずれも噴火直後には植被率が 0% となった場所である。

・オオバヤシャブシ炭素蓄積量の測定

優占種であるオオバヤシャブシを本現存量測定の対象とした。現存量に関しては、2008 年に採取された試料木から得られた以下の式から算出した。

地上部は、

$$\log WA = 2.7841 \log D_0 + 1.2621 \dots (1)$$

地下部は、

$$\log WB = 2.2899 \log D_0 + 0.8356 \dots (2)$$

の 2 式から求めた。なお、 D_0 は根元直径 (cm)、 WA は地上部現存量 (g)、 WB は地下部現存量 (g) を示す。また、現存量の 50% を炭素が占めると仮定して、炭素蓄積量を求めた。

・草本とリター炭素蓄積量の測定

2011 年 9 月に IG7 で 6 地点、IG8 と IG9 で 4 地点無作為に選び調査プロットとした。プロットの大きさは全て 1m×1m とした。草本地上部現存量測定のため、刈り取り調査を行った。また、プロット内のすべてのリターを採取した。植物体の地下部については、植被率の低い IG7 では 1m×1m 内の全ての植物体の地下部を採取した。一方、IG8 と IG9 では、1m×1m 内の 25cm×25cm 内の範囲で深さ (25cm 程度) までの土壌ブロックを採取し、細根の地下部現存量の測定に用いた。ハチジョウススキの地下茎はプロット全体から採取した。土壌ブロックとハチジョウススキの地下茎は実験室に持ち帰った後、水で洗い、土壌と選別した。得られたいずれも試料は、乾燥機を用いて 80°C で 48 時間乾燥後に定量した。

また、現存量の 50% を炭素が占めると仮定して、炭素蓄積量を求めた。

・土壌炭素量の測定

2011 年 10 月に 10m×10m の調査区で、土壌炭素量測定のための土壌試料の採取を行った。容積 100ml の試料円筒を使用し、調査区内の 9 地点で、0-5cm と 5-10cm の表層土壌を採取した。風乾微細土を作成し、全炭素量を NC アナライザーを用いて測定した。また、単位面積当たりの全炭素量を求めるため、2mm 以上の礫を除いた重量の測定および乾土係数 (風乾重量/絶乾重量) の算出を行った。

(2) リター分解

・リターバッグ法を用いた分解速度測定

2011 年 4 月から 2011 年 10 月の間、リターバッグ法を用いてリターの分解過程を調べた。サンプル用の葉は、オオバヤシャブシ・ハチジョウススキ・ヒサカキの 3 種とした。採集の際、できるだけ落葉直後の状態に近いサンプルを採るようにした。採集した葉は実験室に持ち帰り、乾燥機を用いて 80°C で 48 時間乾燥後に定量した。リターバッグは、サイズは 10cm×10cm、メッシュサイズは 3mm と 5mm のものを作製し、それに、1 g の葉を封入した。

完成したリターバッグは、オオバヤシャブシとハチジョウススキについては各調査地点に各メッシュサイズ 30 サンプルずつ設置し、3 か月・6 か月ごとに回収した。ヒサカキについては IG7 と IG9 に 7 サンプルずつ設置し、3 か月・6 か月ごとに回収した。回収した試料は実験室に持ち帰り、乾燥機を用いて 80°C で 48 時間乾燥後に定量した。

(3) 土壌断面形態

2007 年に土壌断面調査が行われた IG7、IG8、IG9 を調査研究対象地点とし、4 年が経過した 2011 年に土壌断面調査をおこなった。

(4) 土壌呼吸

・土壌呼吸の測定

IG7、IG8、IG9 を調査研究対象地点として、土壌 CO₂ フラックス (土壌呼吸) および土壌 CH₄ フラックスの測定を不定期に行った。測定方法は密閉法を採用した。測定ポイントは各調査区で 5 カ所とし、それぞれ約 2 m の間隔が置かれている。2009 年 8 月に各測定ポイントに塩ビ製の円筒チャンバー下枠 (直径 21 cm、高さ 20 cm) を設置した。下枠は下部 5 cm を土壌に埋設した。各調査区のフラックスは 5 チャンバー (#1~5) の平均を代表値とした。フラックス測定は日にちと時刻を変えて 2009 年 8 月 12 日に 2 回、2010 年 6 月 26~28 日に 11 回、同年 8 月 23~25 日に 9 回、同年 10 月 25~27 日に 11 回、2011 年

2月16～17日に11回、2012年2月1～2日に4回(雪で中断)行った。全測定回数は48回であり、各回の測定は全調査区で同時に行われた。

密閉法によるフラックス測定は Mariko et al. (1995)の方法を参照した。チャンバー内のガス採取の時間間隔はおおよそ夏期3分、冬期5分間隔とした。また、一回の測定におけるガスの採取回数は4回とした。すべてのガスが採取されたのち、土壌温度(深さ0 cm, 5 cm, 10 cm)と気温と土壌水分(Cambell社, HYDROSENSE)を測定した。採取したガスのCO₂およびCH₄濃度の分析はTCDおよびFIDをもつガスクロを用いて行われた。ただし、ガスの分析は2010年度の8月と2月に採取したデータのみしか終了していないので、後述する結果の報告は暫定的な成果のみであることを断っておく。

・土壌CO₂・CH₄濃度プロファイル

自作の土壌ガスサンプラーを数段階の深さに設置して、土壌ガスを不定期に採取した。土壌ガスはサンプラーの上部に取り付けられた採血針を通じて、真空バイアルビンに吸引・採取した。採取したガスのCO₂およびCH₄濃度の分析はTCDおよびFIDをもつガスクロを用いて行われた。

・土壌環境の連続観測

土壌温度は小型のセンサー付きデータロガーを#1, 3, 5チャンバーの横に埋設して2008年8月より測定を開始した。土壌水分は各チャンバーのすぐ横にプローブ(Decagon Device, Inc EC-5 ECHOプローブ)を挿して、2010年12月よりロガーにデータの記録を開始した。測定深度は0～5 cmの平均である。

(5) 土壌微生物生態系

三宅島伊ヶ谷(IG7, 8, 9)地点の火山灰堆積物を採取し、火山灰堆積物層の微生物群集構造を分析し、初成土壌形成における地上部の植生と土壌微生物の関係を解析した。

4. 研究成果

(1) 炭素蓄積量の変化

比較のため、2008年の調査によって得られたデータも用いて現存量と炭素蓄積量を比較する。

・現存量・リター蓄積量

地上部現存量は、126g/m²(IG7)、5530g/m²(IG8)、7388g/m²(IG9)と標高の低い地点ほど多くなった。

2008年時と比較すると、地上部現存量の増加速度は24.33g/m²/yr(IG7)、1428.33g/m²/yr(IG8)、1549.33g/m²/yr(IG9)であり、地下部現存量の増加速度は29.67g/m²/yr

(IG7)、404.67g/m²/yr(IG8)、304.67g/m²/yr(IG9)であった。

図1にリター蓄積量の経年変化を示す。リター蓄積量は3年間でそれぞれ、1.97倍(IG7)、2.15倍(IG8)、1.11倍(IG9)になった(図1)。最も現存量の多いIG9において、リター蓄積量の増加割合が最小であった。

・土壌炭素量

各調査地点とも植生の発達した地点ほど土壌炭素量が多くなる傾向がみられた。2008年と比較すると、IG7の5-10cmを除いて土壌炭素量が増加していた。

・炭素蓄積量の年変化

図2に各調査地点の炭素蓄積量の経年変化を示す。IG7では、2008年から2011年の3年間で植物体地上部への炭素集積速度は12.00g/m²/yr、土壌への炭素集積速度は-14.33g/m²/yrであった。同様に、IG8では、植物体地上部への炭素集積速度は712.33g/m²/yr、土壌への炭素集積速度は107.67g/m²/yrであり、IG9では、植物体地上部への炭素集積速度は774.67g/m²/yr、土壌への炭素集積速度は118.33g/m²/yrであった。各地点とも、炭素集積速度は植物体地上部が土壌を上回った。また、植物体現存量の多い地点ほど、植物体地上部・土壌部ともに炭素集積速度が速くなった。

(2) リター分解

図3にリターの分解過程を示す。分解速度の指標として、Olson(1963)の単純指数関数モデルにおける分解速度定数kを用いた。地点間で比較した結果、オオバヤシャブシはIG9で他の2地点と比較して分解速度が有意に大きかった(Steel-Dwassの多重比較、p<0.01)。ハチジョウススキに関しては、IG7・8・9の順に有意に分解速度が速くなった(Steel-Dwassの多重比較、p<0.01)。ヒサカキに関してはIG7と比較してIG9で分解速度が有意に大きくなった(Mann-WhitneyのU検定、p<0.01)。種によらず現存量の多い地点ほど分解速度が大きくなる傾向がみられた。

(3) 土壌断面形態

埋没層の記載を除いたものを記す。

・IG7の土壌断面について(図4)

2000年噴火による火山灰の堆積層は43cmであった。0層はなく、土壌最表層に板状構造があり、地表面に根系が発達していた。

地点番号: IG7

植生: ハチジョウススキのまばらな草原

C1d: 0～10cm、黒褐(2.5Y 3/2)、S、未風化
亜角小礫あり、壁状構造、粘着性なし、可塑

性なし、ち密度密 (25mm)、湿状態で碎易、細根まれ、半湿、活性アルミニウム反応+
C2d : 10~30cm、オリーブ褐 (5Y 3/2)、S、角ないし亜角細礫富む、壁状構造、粘着性なし、可塑性なし、ち密度極密 (30mm)、湿状態で極端に堅硬、半湿

C3 : 30~43cm、オリーブ褐 (5Y 3/1)、S、角ないし亜角細礫富む、粘着性なし、可塑性なし、ち密度中 (20mm)、湿状態で粗しょう、細根あり、半湿

・IG8の土壤断面について (図4)

2000年噴火による火山灰の堆積層は38cmであった。0層の生成が6cmみられ、2007年に調査したときよりも厚くなっていた。最表層に板状構造はなく、地表面にルートマットが密に発達していた。C4層には埋没0層の植物遺体が多数存在した。

地点番号 : IG8

植生 : ハチジョウススキ草原

Oi : +2~+6cm

Oe : 0~+2cm

C1 : 0~6cm、暗オリーブ褐 (2.5Y 3/3)、CL、未風化亜角細礫あり、粘着性弱、可塑性弱、ち密度疎 (12mm)、湿状態で碎易、細小根含む、中根あり、半湿、活性アルミニウム反応++

C2dg : 6~20cm、黒褐 (2.5Y 3/1)、点状斑および脈状斑含む、LiC、未風化亜角細礫あり、壁状構造、粘着性弱、可塑性弱、ち密度密 (27mm)、湿状態で非常に堅硬、細根まれ、半湿

C3d : 20~30cm、黒褐 (2.5Y 3/2)、S、未風化亜角細礫富む、壁状構造、ち密度極密 (30mm)、細根あり、小根まれ、半湿、活性アルミニウム反応±

C4 : 30~38cm、黒褐 (2.5Y 3/2)、S、未風化亜角細礫富む、ち密度疎 (16mm)、細小根あり、半湿、活性アルミニウム反応±

・IG9の土壤断面について (図4)

2000年噴火による火山灰の堆積層は20cmであった。0層の生成が7cm、A層の生成が4cmみられ、2007年に調査したときよりも0層は厚くなり、土壤は発達していた。

地点番号 : IG9

植生 : オオバヤシャブシ・ハチジョウススキ低木林

Oi : +3~+7cm、

Oe : 0~+3cm

A : 0~4cm、黒褐 (10YR 2/2)、有機物すこぶる富む、LiC、中度亜角塊状構造 (φ0.5~3cm)、粘着性弱、可塑性中、ち密度極疎 (10mm)、湿状態で碎易、細管状孔隙含む、細小根富む、湿

C1g : 4~10cm、黒褐 (2.5Y 3/2)、雲状斑あり、CL、亜角細礫あり、壁状構造、粘着性弱、可塑性弱、ち密度密 (26mm)、湿状態で堅硬、細管状孔隙まれ、細小根あり、半湿

C2 : 10~20cm、黒褐 (2.5Y 3/2)、SL、亜角細礫富む、壁状構造、ち密度密 (26mm)、湿状態で碎易、細根まれ、半湿、活性アルミニウム反応±

(4) 土壤呼吸

・土壤炭素フラックスと土壤ガス濃度プロファイル

フラックスについてはすべての分析結果が揃っていないために暫定的な結果を述べる。土壤CO₂フラックス (土壤呼吸) は常に放出フラックス、土壤CH₄フラックスは基本的に吸収フラックスであった。土壤CO₂フラックスは土壤温度 (とくに土壤表層温度) と正の相関がみられたが、土壤水分との関係は不明瞭であった。一方、土壤CH₄フラックスは土壤温度および土壤水分とも関係は不明瞭であった。通常、土壤炭素フラックスは土壤温度と土壤水分との間に何らかの関係が見られるが、現時点までに分析されたデータ量だけでは十分な検討が困難であると思われる。

土壤CO₂フラックスは土壤温度との相関が見られたので、土壤温度の季節変化から年間の土壤CO₂フラックスを炭素重量ベースで計算した。その結果、IG7 (150 g CO₂-C m⁻² yr⁻¹) < IG8 (310 g CO₂-C m⁻² yr⁻¹) < IG9 (365 g CO₂-C m⁻² yr⁻¹) の順で大きいCO₂放出があった。土壤CO₂フラックスは植物の地下部呼吸と土壤へのリター分解に由来するので、植物バイオマス量の調査区間差異を反映した結果となった。

土壤CO₂フラックスは土壤と大気間のCO₂濃度勾配に応じた分子拡散によるものとされている。そこで、2009年8月に測定された土壤CO₂濃度プロファイルから土壤CO₂フラックスの結果を検討したところ、必ずしも土壤CO₂フラックスの調査区間差異を土壤CO₂濃度プロファイルが反映していない可能性が指摘された (図5)。IG7とIG9の土壤CO₂プロファイルは土壤が深くなるほどCO₂濃度が高くなっていることは、これらの土壤がCO₂を放出していることを示している。この点は土壤CO₂フラックスの測定結果が放出フラックスであったことと矛盾しない。しかし、両者のプロファイルがほぼ重なることは、土壤の物理化学性が同じだと仮定した場合、両調査区における土壤CO₂フラックスに大きな差異がないことを意味している。その他の土壤CO₂プロファイルやCH₄プロファイルを含めた総合的な解析をする必要がある。

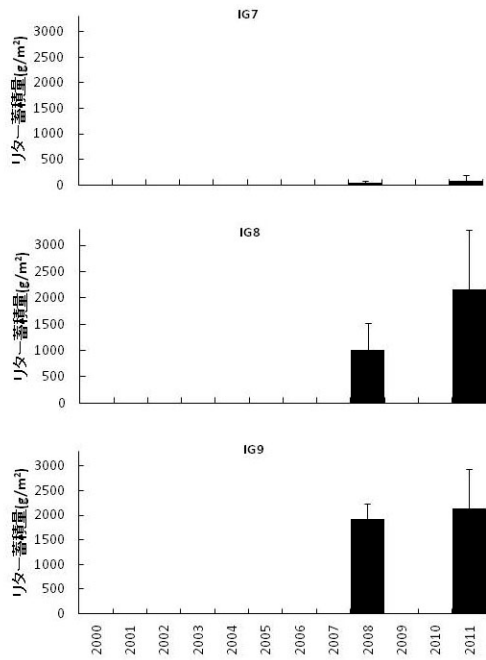


図1 リター蓄積量

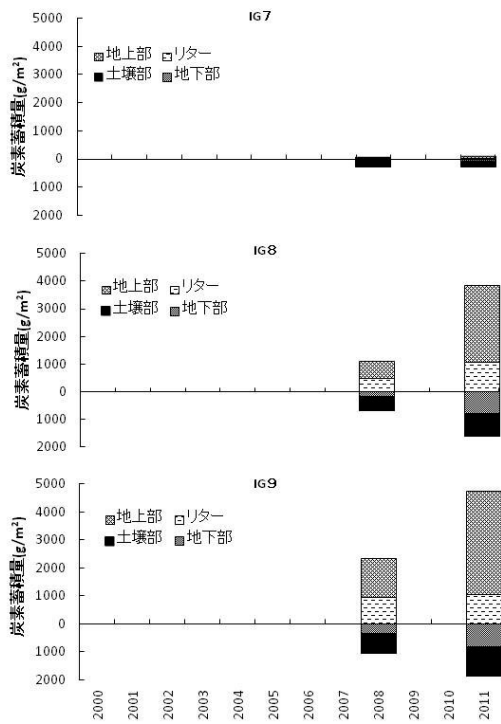


図2 炭素蓄積量

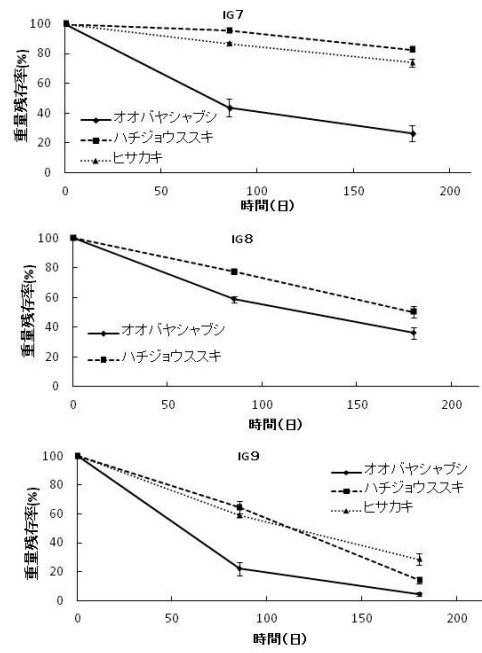


図3 リターの分解

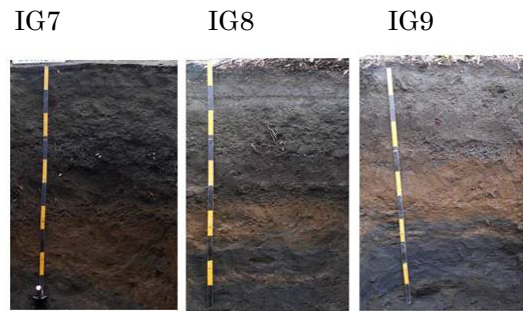


図4 土壤断面

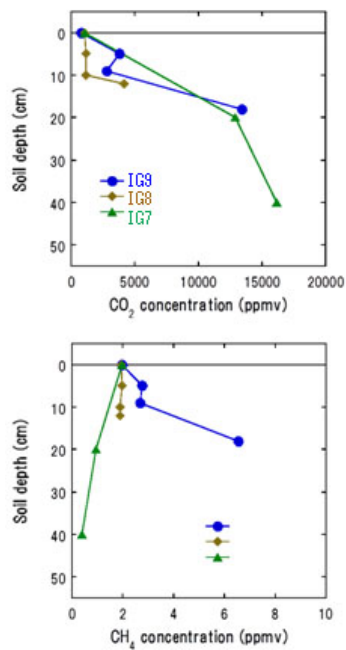


図5 土壌中の CO₂ 濃度と CH₄ 濃度のプロファイル

(5) 土壤微生物生態系

火山灰堆積層の全菌数は 10^8 cells/g 乾土、培養可能細菌数は $10^5 \sim 10^6$ cfu/g 乾土であり、糸状菌（主に孢子）密度は、培養可能細菌数の 1/100 レベルであった。バイオログ・エコプレートを用いた分析では、IG7 地点試料で微生物群集の有機物利用性が低く、IG8 と IG9 地点試料で高い特徴が示唆された。火山灰堆積層の上層と下層および埋没土壌層について、細菌 16S rRNA 遺伝子の T-RFLP プロファイリングを行った結果では、火山灰堆積層の上層の細菌群集構造は地点ごとに異なること、下層の細菌群集構造は地点間で類似し、埋没土壌の細菌群集構造とも類似することが明らかになった。この結果から、火山灰堆積層の上層は植生の影響を受け、下層は埋没土壌からの影響を受けていることが推察された。火山灰堆積層の上層については、細菌 16S rRNA 遺伝子のクローンライブラリー法に用いてさらに解析した。検出された分類ユニット (OTU) の地点間分布を見ると、各地点の細菌群集は固有な OTU で多く構成されることが示唆された。また、各 IG 地点で検出された OTU は噴火の影響を受けていない森林土壌 (CL 地点) の細菌 OTU とはすべて異なっていた。この結果は、IG 地点試料の分析で、初成土壌に特徴的な細菌群集が捉えられたと考えられる。

(6) まとめ

噴火後 11 年間の植物体、リター、土壌の炭素蓄積量は 132-4502、19-1067、212-1047 g m^{-2} となった。土壌に比べ、植物の炭素蓄積速度が速いこと、分解系が未発達なためリター蓄積量が多いことが示された。推定された土壌呼吸速度は、150 -365 $\text{g CO}_2\text{-C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ であり、植生発達と対応した。土壌断面調査では、11 年間で低木林化した地点で A 層の形成が確認された。微生物群集については、植生が未発達な地点でその有機物利用性が低いことが示された。

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 1 件)

- ①川越みなみ、上條隆志、田村憲司、三宅島の火山灰堆積地における発達程度の異なる植生が炭素蓄積量と土壌構造発達に与える影響、日本生態学会誌、査読有、61 巻、2011、203-210

[学会発表] (計 7 件)

- ①黛絵美、上條隆志、宮本雅人、藤井美央、三宅島 2000 年噴火被害林の 11 年間の変化と萌芽再生、第 123 回日本森林学会大会、

2012 年 3 月 28 日、宇都宮大学

- ②藤井美央、上條隆志、黛絵美、火山遷移でオオバヤシヤブシは植物の種多様性を上げる効果があるのか?、第 123 回日本森林学会大会、2012 年 3 月 28 日、宇都宮大学
- ③東亮太、上條隆志、川越みなみ、田村憲司、三宅島 2000 年噴火の火山灰堆積地における 11 年間の炭素蓄積過程、日本生態学会第 59 回全国大会、2012 年 3 月 20 日、龍谷大学瀬田キャンパス
- ④上條隆志、伊豆諸島における噴火後の植生の再生—噴火とともに生きる野生植物たち—、日本植物学会第 75 回公開講演会「東京都の島の植物と生物多様性—伊豆諸島から小笠原まで—」、2011 年 9 月 19 日、駒場キャンパス
- ⑤新谷尚己、田村憲司、上條隆志、東照雄、三宅島 2000 年噴火火山灰堆積地におけるハチジョウススキ群落分布と土壌の諸性質との関係、土壌肥料学会 2011 年度つくば大会、2011 年 8 月 8 日~9 日、つくば国際会議場
- ⑥久保栄子、上條隆志、金子信博、東亮太、三宅島の火山灰堆積地における植生と中大型ミミズ類の関係、第 58 回日本生態学会大会、2011 年 3 月 11 日、札幌コンベンションセンター
- ⑦川越みなみ、上條隆志、田村憲司、植生遷移と火山灰堆積地における土壌の初期生成、第 57 回日本生態学会大会、2010 年 3 月 16 日、東京大学

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・准教授
研究者番号：10301079

(2) 研究分担者

田村 憲司 (TAMURA KENNJI)
筑波大学・生命環境系・准教授
研究者番号：70211373
鞠子 茂 (MARIKO SHIGERU)
法政大学・社会学部・教授
研究者番号：10251018

(3) 連携研究者

太田 寛行 (OHTA HIROYUKI)
茨城大学・農学部・教授
研究者番号：80168947