様式 C-19

科学研究費補助金研究成果報告書

平成　21 年　5 月　22 日現在

研究種目：　基盤研究（C）
研究期間：2007～2008
課題番号：19580159
研究課題名（和文）　三宅島 2000 年噴火後８年間の陸上生態系の回復過程

研究課題名（英文）　Recovery process of terrestrial ecosystem in eight years on Miyake-jima Island after the 2000-year eruption

研究代表者
上條　隆志（KAMIJO TAKASHI）
筑波大学・大学院生命環境科学研究科・准教授
研究者番号：10301079

研究成果の概要：
三宅島噴火後の生態系の回復過程を明らかにするため、衛星画像・植生・土壌・野生動物の調査解析をした。(1) 植生と土壌が回復する一方で、火山ガスにより樹木の後退が生じたこと、(2) 噴火被害と対応して鳥類や昆虫の種構成、ヒサカキの繁殖成功度などが変化したこと、(3) 特定の昆虫が大発生したこと、(4) 動物の種構成の変化や大発生には草原化や枯死木の発生と消失などが関係する可能性が高いことなどが示された。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合　計
2007 年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2008 年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度			
年度			
年度			
総　計	3,500,000	I,050,000	4,550,000

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：生態系, 火山, 三宅島, 植生, 野生動物

１．研究開始当初の背景

火山活動は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。また、噴火によって生物圏が完全に破壊された地表面では、生物と無機的環境との相互作用により新たな生態系が再生することとなる。以上のように巨大噴火後の生態系の回復過程を長期追跡することは、巨大攪乱に対する陸上生態系の応答を総合的に理解する貴重な機会を与える。

本研究の調査地である三宅島は 2000 年に大噴火し、陸上生態系が広域的に破壊された。しかし、全島民避難が４年以上続き、十分な現地調査が困難であったため、生態系の劇的な変化は詳細には明らかにされていなかった。

２．研究の目的

本研究では、三宅島の巨大噴火後の陸上生態系の長期回復過程について明らかにすることを目的とする。具体的には、以下のことがらを明らかにする。

(1)衛星画像解析による噴火後の植生変化
(2)植生の構造と種組成の変化
(3)火山灰堆積地の植生と土壌初期生成
(4)鳥類の生息状況の変化
(5)噴火後の昆虫の生息状況
(6)噴火後のイタチの生息状況
(7)ヒサカキを中心とした生物間相互作用

３．研究の方法

(1)衛星画像解析による噴火後の植生変化
三宅島 2000 年噴火前 4 時期、噴火後 8 時期の合計 12 時期衛星画像データを用いて、三宅島 2000 年噴火後の植生変遷パターンを現す地図を作成した。噴火前，噴火後 2 年以内, 噴火後 3 年以降の 3 時期分の NDVI 最大値画像を統合した 3 バンド画像を作成し，これをもとに植生変遷パターンを類型化した。クラスタリングには，非階層型手法の ISODATA 法を用いた。

(2)植生の構造と種組成の変化
2001 年から 2008 年の毎年、三宅島南西部の南戸林道沿いと雄山林道沿いに設置された面積 100m² の固定調査区計 11 地点において、植物社会学的方法に基づいた植生調査を行った。胸高直径 5cm 以上の樹木を対象として毎木調査を行った。

(3)火山灰堆積地の植生と土壌初期生成
2007 年に三宅島北西部に標高傾度に沿った 3 地点の固定調査区（伊ヶ谷 7（544m)、伊ヶ谷 8（443m)、伊ヶ谷 9（379m））を設置し、土壌試料のサンプリング、植物体地上部の刈取、地下部の堀取、植生調査等を 2008 年に行った。これらのデータを元にして、植物体地上部および地下部、リター、土壌中の炭素蓄積量の推定を行うと共に噴火後の年数から炭素蓄積速度を求めた。なお、植物体とリターについては、乾燥重量の 50%の値を炭素蓄積量とした。土壌試料については、一般理化学生の分析とともに、土壌微細形態の観察を行った。

(4)鳥類の生息状況の変化
噴火や火山ガスによる植生被害と鳥類群集の関係を分析するために、2001 年から 2008 年の毎年、鳥類のセンサス調査を行った。調査は、いずれも繁殖期と越冬期に実施した。

(5)噴火後の昆虫の生息状況
2004 年、2007 年、2008 年にマレーズトラップと吊り下げ式トラップにより、木材穿孔性甲虫類等の生息状況調査を行った。

(6) 噴火後のイタチの生息状況
噴火後のイタチの生息密度を推定するため、2007 年と 2008 年に、植生被害パターンを基に島内数カ所に調査地域を設け、イタチの糞密度調査と捕獲調査を行った。

(7)ヒサカキを中心とした生物間相互作用
ヒサカキの開花結実状況と種子散布者である鳥類の糞分析を行った。

４．研究成果

(1)衛星画像解析による噴火後の植生変化
噴火前，噴火後 2 年以内，噴火後 3 年以降の三時期の最大 NDVI 値を指標として衛星画像の分類を行った結果，三宅島は A から F までの 6 つの植生変遷パターンを示す地域に分類された（図１）。それぞれの地域における最大 NDVI 値の三時期の平均推移を図２に示した。

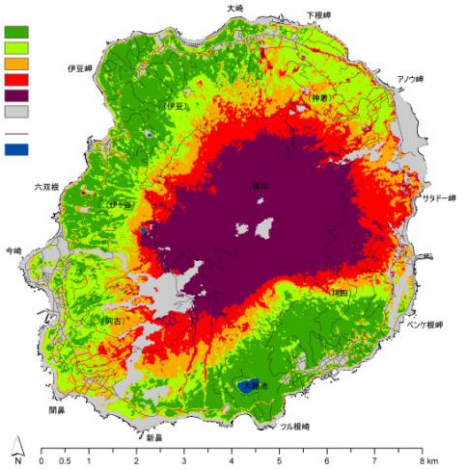


図１　衛星画像による三宅島の 2000 年噴火後の植生回復過程の評価。
凡例は、植生変遷パターンを示す。緑：A、黄緑：B、オレンジ：C、赤：D、紫：E、灰色：F。

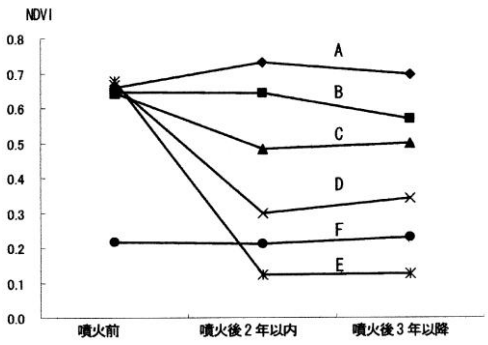


図２　各時期における NDVI 最大値の平均推移

衛星画像によって分類された植生変遷パターンを示す各グループ（図１、２）に対して，噴火直後及びそれ以降の植生回復過程に着目して，次のような解釈が成り立つものと考えられる。

A:噴火による被害が認められずに樹林地に覆われた地域
B:噴火により樹木が徐々に衰退し，樹林地が草地に置き換わりつつある地域
C: 噴火直後に樹木が衰退したが，樹林地が草地に置き換わって植生が回復する過程にある地域
D:噴火直後の植生被害が大きく，その後に草地として植生が回復する過程にある地域
E:噴火直後に植生が失われ，その後も回復していない地域
F:噴火前から植生の乏しい地域

(2)植生の構造と種組成の変化

高木層、亜高木層の植被率は噴火後減少した。これに対し、低木層と草本層の植被率は増加した。高木層、亜高木層の植被率の減少は、火山ガスの噴出が継続したことが第一の原因と考えられる。また、三宅島では噴火後マイマイガの幼虫やカミキリムシ類の大量発生が認められている(加藤・樋口 2006、槇原・岡部 2006)。このような特定の昆虫類の大量発生が、樹木の衰退を加速させていると考えられる。

種組成についてみてみると、噴火後出現頻度が増加傾向にある種としてサルトリイバラ、カジイチゴ、ハチジョウススキ、ハチジョウイタドリ、ユノミネシダなどが挙げられた。増加した種のうち、カジイチゴ、ハチジョウススキ、ハチジョウイタドリの３種は先駆種であり、三宅島では溶岩上の生育する種であった。2001 年にはこれらの植物は出現しておらず、噴火被害により疎林化したため、侵入が可能になったと考えられる。特にユノミネシダは噴火前の三宅島ではほとんど確認されておらず、噴火後特異的に増加した種である。

衛生画像解析結果との対応関係をみると、図１のＢ、Ｃ、Ｄの地域でみられる草地化は、主にハチジョウススキの増加によるものと考えられる。ただし、固定区を設置していない島の東部では、ユノミネシダが多く、これら優占種と対応した衛生画像解析を行うことが今後の課題の一つと考えられる。また、Ａの「噴火による被害が認められずに樹林地に覆われた地域」においても、樹木の枯損の進行が現地調査では認められ、継続的な調査が必要である。

(3)火山灰堆積地の植生と土壌初期生成

①植生と土壌断面と土壌微細形態

標高が高く火口に近い調査地点ほど植生が未発達であり、標高が低くなるにつれて植被率と種数が増加した。伊ヶ谷 7（544m）では、2008 年時点もほぼ裸地に近い状態であり、伊ヶ谷 8（443m）はハチジョウススキの草原、伊ヶ谷 9（379m）はオオバヤシャブシの低木林となっていた。植生の発達とともに、土壌有機質層(O 層)が厚くなった。また、根の侵入が深くなるとともに、礫が細粒化し、土壌微細形態の構造が変化した（図３）。植生の発達とともに、亜角塊状構造から団粒内孔隙に富む小粒状構造、軟粒構造になり、根が観察される量も増加した。植生発達と土壌の微細形態が、深く関わっていることが明らかとなった（図３）。

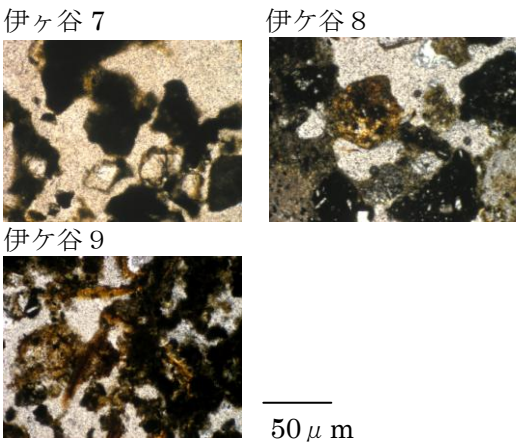


図３　伊ヶ谷 7、8、9 の表層土壌(0～5cm)の微細形態

②植生と土壌の炭素蓄積量と炭素集積速度

伊ヶ谷 7 では植物体炭素量は 51g/m²、リター炭素量は 19g/m²、土壌炭素量は 255 g/m² であり、合計 325g/m² であった。伊ヶ谷 8 では植物体炭素量は 691g/m²、リター炭素量は 503g/m²、土壌炭素量は 491g/m² であり、合計 1685 g/m² であった。伊ヶ谷 9 では植物体炭素量は 1353g/m²、リター炭素量は 965 g/m²、土壌炭素量は 692g/m² であり、合計 3010g/m² であった。

地上部炭素集積速度は伊ヶ谷 7 が 3.4g/m²/yr、伊ヶ谷 8 が 65.1g/m²/yr、伊ヶ谷 9 が 125.4g/m²/yr であった。三宅島の溶岩上における地上部炭素集積速度は、地上部が 48g/m²/yr であることが報告されている(Kamijo et al. 2002)。本調査地点の炭素集積速度と比較すると、地上部は伊ヶ谷 8 と伊ヶ谷 9 で 125 年経過した溶岩上より速く、地下

部は全調査地点で速かった。これは、伊ヶ谷8と伊ヶ谷9では、窒素固定能を持つオオバヤシャブシが優占しはじめ、遷移初期にしばしば制限要因となる窒素を土壌に付加していることに加え、本調査地点の母材である火山灰が溶岩と比べて風化速度が速いことに起因すると考えられる。

(4)鳥類の生息状況の変化

①鳥類群集と植生との関係

樹木植被率と鳥類の種密度の関係を散布図で示した（図４）。植生に被害がでていた場所では樹木植被率は小さい値となっていたが、そうした場所では鳥類の種密度は低かった。

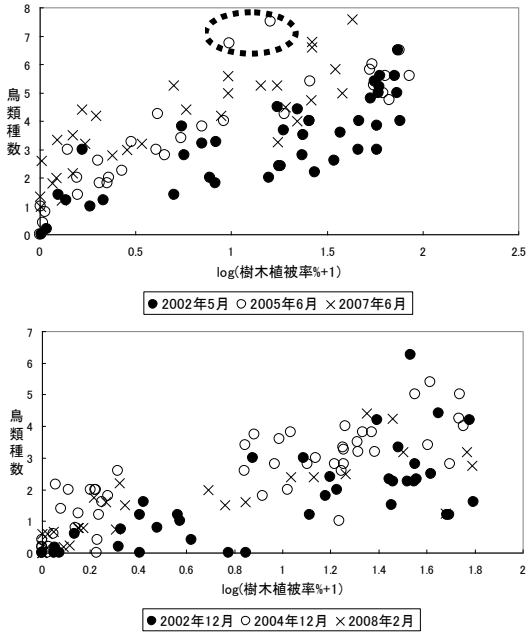


図 4　樹木植被率と鳥類種数との関係。上段は繁殖期、下段は越冬期の調査結果を示す。鳥類種数は、それぞれの区間に含まれる小区間で記録された種数の平均値。上段の破線の囲みは、2005 年初夏ハスオビエダシャク大発生区間を示す。

樹木植被率と鳥類の種密度および個体密度の相関の様子は、2002 年から 2007 年にかけて時間とともに変化し、樹木植被率に対する種密度および個体密度の増加率が上昇するか、または樹木植被率が０％の時の種密度や個体密度が増加する傾向が認められた（図４）。この結果は、 火山ガスによる樹木の衰退に伴い、鳥類がより樹木植被率の低い場所をも利用せざるを得なくなっている、あるいは、樹木の枯死が進んでいる場所でも鳥類の食物となる昆虫類はそれなりに発生する状況にある、など、鳥類が植生の状態が悪い場所も利用して生活している可能性を示唆するものと考えられる。但し、2008 年 2 月以降には、この傾向が認められなかったか、少なくとも弱まっていると判断された。仮に、枯死木からの昆虫の発生が上述の経年変化の主要な原因であった場合、枯死木の除去や分解が進み昆虫の供給が一時ほど多くはなくなってきたということも考えられる。今後の推移に注目したい。

2004 年以降の繁殖期の調査では、島の南西～南側の広範囲にわたって林道南戸線の下部を中心にハスオビエダシャクの幼虫が大発生し、この幼虫を捕食するために多数の鳥が飛来していた（加藤・樋口、2006）。それらの区間については樹木植被率と鳥類の種密度、個体密度との関係が崩れるという現象が認められた(図 4)。

②植生の退行、回復状況と鳥類群集

衛星画像解析の類型（図１）と鳥類の種密度の対応関係をみると、種密度の平均値は類型 A の領域で最も高く、B、C、D となるに従って単調に減少し、類型Ｅの領域で最も小さくなるという傾向が、繁殖期、越冬期を問わず、また調査年によらず認められた。

繁殖期に関しては、B～E 類型において鳥類の種密度が 2008 年に減少する傾向を示した。越冬期でも、A～D 類型で 2007 年(実際の調査は 2008 年 2 月)に種密度の減少が認められた。繁殖期、越冬期ともに直前の年までは、種密度はおおむね安定ないし微増という傾向を示している。これは上述の、樹木植被率に対する種密度の増加率が年を追って上昇するか、または樹木植被率が０％の時の種密度が年ごとに増加する傾向と対応するものである。樹木植被率と種密度の関係が 2008 年以降変化しつつあるのと対応するように、各類型における種密度の低下が始まっているのかもしれない。

(5)噴火後の昆虫の生息状況

①木材穿孔性甲虫類

火の山林道において、2004，2007，2008 年の各 8 月に吊り下げ式トラップを用いてカミキリムシ相を調査した結果を比較検討した。2004 年に優占種であったフタオビミドリトラカミキリが 2007 年になるとニホンチャイロヒメカミキリに置き代わっていた。フタオビミドリトラカミキリは硬い枯木を幼虫が食し、ニホンチャイロヒメカミキリはやや腐朽した材であるが硬さの多少残った枯木を好む。したがって、このような優占種の

変化は火の山林道上部、中部の枯木がだんだん腐朽していく過程をカミキリムシが示しているといえよう。

②キイロクワハムシとイズアオドウガネの大発生

キイロクワハムシの捕獲個体数 3579 と最も多かった坪田 1 は火山ガスの影響が強く、生木の全く無い荒廃地である。また、その次に数多く捕獲された坪田 2, 3, 火の山上も生木が全く無いか、衰弱木が僅かに残っている場所である。これに対して本種の捕獲個体数が 0 であったのは坪田 8 と薬師堂は火山ガスの影響の非常に少なく、枯木も無く、森林がよく発達している場所である。

イズアオドウガネについても同様な傾向が認められ、噴火被害が大きい地域で数多く捕獲された。また、2007 年 7 月の各地点におけるイズアオドウガネ捕獲個体数と NDVI 値には負の相関がみられた。また、NDVI 値が 0.24 以下の地点でイズアオドウガネの個体数の増加が確認された。一方、6 月および 8 月の各地点における捕獲個体数と NDVI 値には相関関係はみられない結果となった。噴火による植生被害が大きい地域でイズアオドウガネが多く捕獲されたのは、噴火被害地で増加している腐朽木やハチジョウススキの根など、イズアオドウガネ幼虫の餌資源が増加したことにより、成長に適した環境が増えた可能性がある。

(6)噴火後のイタチの生息状況

得られた三宅島全体のニホンイタチの生息数推定値は、ルートごとでは、958±795（個体±SE）から 3753±15091（個体±SE）となり、おおむね数百頭から 4000 頭程度のニホンイタチが生息しているものと考えられる。

また、噴火影響が弱いところからとても強い裸地地域までニホンイタチの生息が確認されており、夏季には噴火影響が強い環境ほどむしろ密度が高くなっていた。このことは、噴火の直接の影響を受けているのではなく、植生被害を通して、餌動物の分布様式が変化したことにより間接的に影響を受けている可能性を示している。

(7)ヒサカキを中心とした生物間相互作用

各調査地の調査木数は、噴火の影響の程度小、中、大の順に 16、10、21 本であった。着葉率(平均)は、噴火の影響の程度小、中、大の順に 100.0%（SD 0.0）、92.3%（SD 8.4）、62.3%（SD 27.3）であり、影響の大きい地点で低い値となった(F=16.1; P<0.0001)(図 5)。各枝の花芽数、果実の死亡率には有意な差はなかった(F=2.95; P=0.07)。結果率(平均)は 67.0%（SD 18.8）、37.4%（SD 21.6）、23.8%（SD 17.1）であり、影響の大きい地点で低い値となった(F=19.5; P<0.0001)(図 6)。果実の消失率(平均)は有意な差はなかった(F=1.2; P=0.15)。

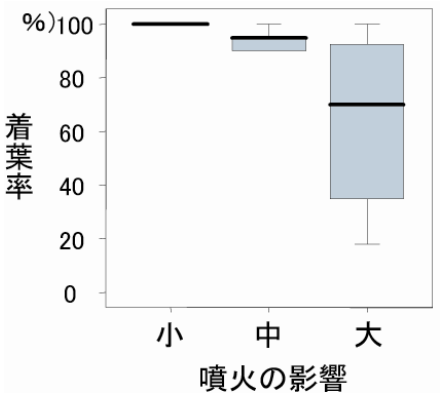


図 5. ヒサカキの着葉率と噴火の影響程度

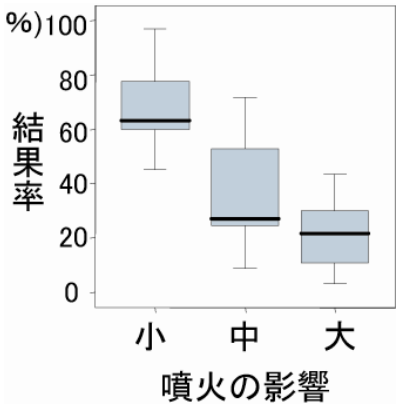


図 6. ヒサカキの結果率と噴火の影響程度

噴火の影響が少ない坪田 2 地点では計 26 個の糞を採取した。糞の組成は、ヒサカキの種子のみが 4、ヒサカキ種子と昆虫類が混ざったものが 3、その他種子が入っている糞が 16(シマクサギ 4、オオムラサキシキブ 4、フウトウカズラ 3、トベラ 3、アオノクマタケラン 1、ヘクソカズラ 1)、昆虫類のみが 3 であった。ヒサカキの種子が 26.9%と、一番多く糞に含まれていた。周辺には糞内に含まれた植物種の種子のほかに、ハチジョウイボタ、マサキ、ハチジョウイヌツゲ、サルトリイバラ、マルバアキグミ、オオバヤシャブシ、ハチジョウススキなどの植物の結実が確認された。

噴火の影響が大きい雄山林道 2 地点では、計 24 個の種子を採取した。糞の組成は、ヒサカキの種子のみが 2、ヒサカキ種子と昆虫類が混ざったものが 3、その他種子が入っている糞が 2(サルトリイバラ 1、オオムラサキシキブ 1)、昆虫類のみが 17 であった。昆虫

を含む糞が 83.3%ともっとも多く、ヒサカキの種子を含むものは 28.8%であった。周辺にはオオバヤシャブシ、ハチジョウススキ、ハチジョウイヌツゲ、サルトリイバラのみの植物種の結実が確認された。糞中に確認されたオオムラサキシキブの生育は確認されなかった。

結果をまとめると、①噴火はヒサカキの着葉に負の影響を与えるものの、②花芽の形成にはほとんど影響を与えない。しかし、③噴火の影響が大きいところでは果実の死亡率が高く、その結果、結果率を下げることが推察された。④果実の消失率は、噴火の影響程度の異なる地点で差が見られず、鳥類の散布される種子の大半をヒサカキが占められており、ヒサカキの種子散布系は維持されている、という 4 点に集約された。

つまり、噴火はヒサカキの繁殖成功(結果率)を下げるものの、鳥類によるヒサカキの種子散布系は維持されており、この結果は、鳥類により花粉媒介が行われるヤブツバキの送粉系の維持(Abe and Hasegawa,2008)と同様であった。さらに、鳥類の糞には調査地で確認されていないオオムラサキシキブの種子も含まれ、これは噴火の影響が少ない地点から運ばれたものと推察された。このため、噴火の影響が大きいところでも多くの種子をつけるヒサカキの存在は、鳥類の餌資源として噴火の影響の大きい地域へ鳥類を誘引し、その結果、鳥類散布型種子植物の遷移促進に貢献している可能性があると考えられた。

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 3 件）

① Kamijo, T., M. Kawagoe, T. Kato, Y. Kiyohara, M. Matsuda, K. Hashiba, K. Shimada: Destruction and Recovery of Vegetation Caused by the 2000-Year Eruption on Miyake-Jima Island, Japan. Journal of Disaster Research, 3: 226-235, 2008（査読有）
②高橋俊守，加藤和弘，上條隆志：衛星リモートセンシングによる三宅島 2000 年噴火後の植生回復過程．ランドスケープ研究，71：539-542，2008（査読有）
③上條隆志：三宅島の火山噴火後の森林回復．森林科学，46：7-10，2008（査読無）

〔学会発表〕（計 4 件）

①阿部晴恵、山本裕、長谷川雅美：ヒサカキの種子散布に関わる生物間相互作用が三宅島の森林生態系回復に果たす役割、日本生態学会第 56 回大会、盛岡、2009 年 3 月 18 日、 ポスター発表
②川越みなみ，上條隆志，田村憲司：三宅島 2000 年噴火による火山灰堆積地の植生遷移と土壌生成、日本生態学会第 56 回大会、盛岡、2009 年 3 月 18 日、ポスター発表
③星 元規、槇原 寛、上條隆志、 高橋俊守：三宅島 2000 年噴火被害地におけるイズアオドウガネの捕獲数と植生との関係 、日本生態学会第 55 回大会、福岡、2009 年 3 月 16 日、ポスター発表
④川越みなみ，上條隆志，田村憲司：三宅島 2000 年噴火後の植生遷移と土壌断面形態、植生学会第 13 回大会、府中、2008 年 10 月 12 日ポスター発表

６．研究組織

(1)研究代表者

上條　隆志(KAMIJO TAKASHI)
筑波大学・大学院生命環境科学研究科・准教授
研究者番号：10301079

(2)研究分担者

樋口　広芳(HIGUCHI HIYOYOSHI)（2008 連携研究者）
東京大学・大学院農学生命科学研究科・教授
研究者番号：10111486
加藤　和弘(KATO KAZUHIRO)
東京大学・大学院農学生命科学研究科・准教授
研究者番号：60242161
長谷川　雅美(HASEGASWA MASAMI)（2008 連携研究者）
東邦大学・大学院理学研究科・教授
研究者番号：40250162
田村　憲司(TAMURA KENNJI)（2008 連携研究者）
筑波大学・大学院生命環境科学研究科・准教授
研究者番号：70211373
高橋　俊守(TAKAHASHI TOSHIMORI)
宇都宮大学・農学部・准教授
研究者番号：20396815
中村　徹(NAKAMURA TORU)（2008 連携研究者）
筑波大学・大学院生命環境科学研究科・教授
研究者番号：60015881

(3)連携研究者 なし