

機関番号：12102

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2008～2010

課題番号：20405002

研究課題名（和文） 北東アジア半乾燥地における土壌中の放射性核種の動態と将来予測

研究課題名（英文） Dynamics and its prediction of  $^{137}\text{Cs}$  in soils in semi-arid region, Northeast Asia

研究代表者

田村 憲司 (TAMURA KENJI)

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

研究成果の概要（和文）：

近年、北東アジア半乾燥地では、家畜頭数が大幅に増え、草原の荒廃が著しい。本研究においては砂嵐発生頻度の小さいモンゴル東部、頻度の大きい南部および、年毎に頻度が大きく変動する中央部を対象として植生および土壌の調査を実施した。この結果から植生被覆や土壌水分量など地表面状態の地域差が明らかにされた。さらに、この地域の複数地点で植生被覆、土壌特性、砂塵発生強度などを調査した。以上の調査および観測を研究開始2年半継続実施した結果から、黄砂の動態をシミュレーションモデルにより解析し、将来予測を行なった。

研究成果の概要（英文）：

In semi-arid region, Northeast Asia, the livestock population has rapidly increased in recent years. Excessive grazing due to large numbers of livestock causes severe degradation of natural grassland. Furthermore, the vegetation cover of grassland has been reduced by extensive droughts caused by recent climatic changes in continental East Asia. These changes are likely to result in severe soil degradation and the release of large quantities of soil dust into the atmosphere. This study clarified the degradation of grassland and its influence on Asian dust phenomena.

交付決定額

(金額単位：円)

|        | 直接経費       | 間接経費      | 合計         |
|--------|------------|-----------|------------|
| 2008年度 | 3,700,000  | 1,110,000 | 4,810,000  |
| 2009年度 | 3,300,000  | 990,000   | 4,290,000  |
| 2010年度 | 3,300,000  | 990,000   | 4,290,000  |
| 総計     | 10,300,000 | 3,090,000 | 13,390,000 |

研究分野：土壌科学

科研費の分科・細目：農学・環境動態解析

キーワード：半乾燥地、黄砂、土壌、放射性核種、 $^{137}\text{Cs}$ 、北東アジア

## 1. 研究開始当初の背景

北東アジアの大陸において 2000 年代初めに降砂嵐が多発しており、大気中へ巻き上げられた砂塵（黄砂）の日本への飛来も頻繁に観測されている。2002 年 3 月には近年で最大規模の砂嵐発生および砂塵飛来があり、その影響は深刻で北東アジアの広範囲に及ぶものであった。従来は中国西部の砂漠（タクラマカン砂漠等）、ゴビ砂漠および黄土高原が主要な砂塵の発源地として考えられてきたが、この 2002 年のケースも含め、近年では砂漠地帯よりもモンゴルや中国北部の草原域において目立って砂嵐の発生頻度が高い傾向にある。その主な理由として当該地域における春季の強風発生頻度の増大、および干ばつや人為による植生減少や土壌劣化などの砂漠化が考えられている。しかしながら、これらのいずれが原因であるのか、原因が複合しているのであれば各々がどの程度の寄与を持つのか、といった定量的な観点からの究明は国内外の研究において不十分である。

## 2. 研究の目的

モンゴルにおける砂塵の発生は北部の森林地帯および西部の山岳地帯を除く全域で認められるが、中央部および南部に分布する半乾燥地および乾燥地において著しい。この地域差は気候・植生帯の違いおよび、春季における積雪（残雪）分布や強風発生分布を反映していると考えられる。本研究においては砂嵐発生頻度の小さいモンゴル東部、頻度の大きい南部および、年毎に頻度が大きく変動する中央部を対象として植生および土壌の調査を実施する。この結果から植生被覆や土壌水分量など地表面状態の地域差が明らかにされる。さらに地表面状態と砂塵発生強度の関係を把握するためモンゴル中央部において観測を実施する。この地域は気候・植生帯の境界に位置しており年毎の降水量変動が大きい（年降水量 150～350mm）。またステップとゴビステップの両方のタイプからなる多様な草原が分布し（図 3）、年および地点毎の植生量変動も大きい。この地域の複数地点で植生被覆、土壌水分量、砂塵発生強度および、風速など気象要素のデータを取得する。得られたデータの中で植生被覆や土壌水分量には、年毎あるいは観測地点毎に変動幅や変動パターンの違いが大きく表れると予想される。これらの違いをモンゴルの各地域における地表面状態の地域差と読み替えることにより、砂塵発生強度のデータを直接得られないモンゴル東部（年降水量約 350mm）

および南部（同 200mm）における地表面状態と砂塵発生強度の関係も推定される。以上の調査および観測を研究開始 2 年半継続実施し、得られた結果から砂塵の発生を規定する各要因の定量的な関係性を明らかにする。

以上により黄砂現象の全体像と、それに対する気象条件の変動や砂漠化の関与、および現象の多発原因を定量的に解明する。

さらにこの成果を発展させ、温暖化による気候変動や放牧など人為的インパクト増大によって、大陸における砂塵発生が促進される状況を想定した、北東アジアにおける黄砂現象の将来予測をおこなう。

## 3. 研究の方法

本研究では、研究体制は学際的になっている。土壌の特徴づけ及び同位体分析を田村・東が、黄砂の同位体分析を藤原が、植生学を上條が、生態系生態学を烏云娜（中国）が、そして、農学をウンダルマー（モンゴル国）が担当し、専門的な観点から調査、観測、測定・分析、考察を行なった。さらに、各調査地点を一緒に調査することにより、黄砂 ⇄ 土壌 ⇄ 植物 ⇄ 微生物 の間の相互作用を解明することも可能となる。

## 4. 研究成果

(1) モンゴル・フスタイ国立公園における植物社会学的研究

### ①はじめに

モンゴルは約 156 万 km<sup>2</sup> という広大な国土面積を有し、そのうちの 80%が草原植生であると言われている。現地の人々はこの草原植生を古くから持続的に利用してきた。しかしながら、1990 年代の資本主義経済への移行に伴い家畜頭数が急増し、各地で草原退行が大きな問題となっている。その中で近年、ウランバートルや地方の拠点都市周辺において、定着型の放牧が行われるという現象が生じている（加藤 2007）。また総人口の 60%が都市生活者であるといった報告もある（バルジンニャムら 2006）。それゆえ、今後都市周辺の草原退行が特に大きな問題になると考えられる。

ウランバートルから西へ 95km のところに位置するフスタイ国立公園は、放牧の制限が行われているため、ウランバートル周辺における自然度の高い植生を維持する場として重要である。しかしながら、現在の保全対策の効果を判断するには、フスタイ国立公園内の植生の現状を広域に把握する必要がある。そこで本研究では、植物社会学的方法を用い

て群落区分を行い、種組成に基づいた植生の体系化を行うこと、そして群落区分の結果をもとにフスタイ国立公園の今後の管理や研究に提言を行うことを目的とした。

## ②調査地と調査方法

調査は2010年の7月28日から8月4日にかけて、植物社会学的方法 (Braun-Blanquet 1964 ; Mueller-Dombois and Ellenberg 1974) に基づいて行った。調査は (i) 放牧傾度 (弱・中・強)、(ii) 標高傾度 (低標高・中標高・高標高)、(iii) 耕作放棄地で行った。調査地点数は全72地点であった。全72地点の調査結果を統合し、表操作法による群落区分を行った。また調査地点間の類似性を見るためにDCA法を用いて序列化を行った。同様に、出現種と調査地タイプの関係を知るために、CA法による序列化を行った。序列化には全72地点の種の有無を用いて行い、第1軸と第2軸で展開した。

## ③結果と考察

群落区分の結果、2群落が識別された。これらは、*Artemisia sieversiana* - *Polygonum convolvulus* 群落と *Stipa krylovii* - *Caragana leucophloea* 群落であった。*Artemisia sieversiana* - *Polygonum convolvulus* 群落はさらに、*Eragrostis minor* 下位単位と *Chenopodium album* 下位単位に識別され、*Stipa krylovii* - *Caragana leucophloea* 群落はさらに、*Koeleria macrantha* 下位単位と *Convolvulus ammannii* 下位単位に識別された。DCA法による序列化の結果、各群落単位は明確に区分された。

*Artemisia sieversiana* - *Polygonum convolvulus* 群落は、すべて耕作放棄地の調査地点であった。Zhan et al. (2007) は、内モンゴルシリンゴル草原の耕作放棄地において、多年生イネ科草本の埋土種子の欠如が植生修復の制限要因になっていると報告している。内モンゴルシリンゴル草原の耕作放棄地の埋土種子相と本研究の *Artemisia sieversiana* - *Polygonum convolvulus* 群落の種組成は類似しており、群落構成種は埋土種子起源と考えられる。また、フスタイ国立公園内においても耕作放棄地の埋土種子相は貧弱であることが予想され、今後の植生の回復が進行するかどうか懸念される。

*Stipa krylovii* - *Caragana leucophloea* 群落の下位単位である *Koeleria macrantha* 下位単位は、標高傾度：高標高の調査地点のみから構成されていた。*Koeleria macrantha* 下位単位は、先行研究で区分された *Filifolio sibirici* - *Stipetum krylovii* 群落の構成種を多く含んでいる (Hilbig 1995)。*Filifolio sibirici* - *Stipetum krylovii* 群落は、主としてモンゴル北東部に分布し、フスタイ国立公園周辺では、散在的に分布して

いると報告されている (Hilbig 1995)。その一方で、*Koeleria macrantha* 下位単位は、*Filifolio sibirici* - *Stipetum krylovii* 群落と比較して、独自の要素も含んでいること、公園内の分布範囲が狭いと考えられることから、群落をできるだけ現状のまま保護してゆくことが重要と考えられる。

*Stipa krylovii* - *Caragana leucophloea* 群落の下位単位である *Convolvulus ammannii* 下位単位は、標高傾度：中標高と全ての放牧傾度の調査地点から構成されていた。本調査では、放牧強度に応じた下位単位の抽出はできなかったが、DCA法による序列化では放牧強度によって調査地点の配置に違いが見られた。そこでCA法による草原退行の指標種の抽出を試みた結果、強度の放牧と *Artemisia pectinata* の間に強い関係があることが明らかになった (Fig. 1)。*Artemisia pectinata* は、過放牧による草原退行の指標種となりえる可能性がある。しかしながら、本研究の調査地点数では不十分であるため、今後の追跡調査が必要であると考えられる。

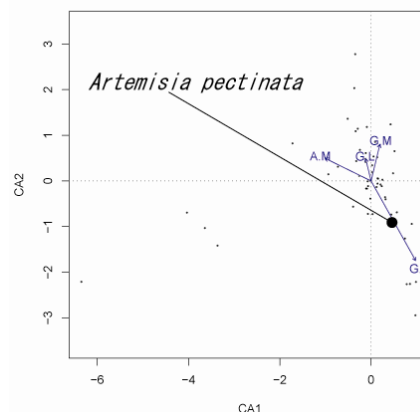


図1 CA法による序列化の結果と *Artemisia pectinata* の配置の位置

また、Hoshino et al. (2009) では、フスタイ国立公園における放牧傾度による植被率の変化 (多年生草本から一年生草本への移行) が報告されており、今後、種組成や生活型組成などの質的变化と植被率やバイオマスなどの量的変化の両面から放牧に対する植生の応答を把握していく必要があると考えられる。

(鈴木康平・上條隆志・  
ウンダルマー・ジャムスラン)

## (2) 放牧とその管理が土壌に与える影響

### ①はじめに

モンゴル国では1991年に市場経済が導入されてから、家畜頭数の増加に伴う過放牧地

の土壌侵食が深刻な問題となっている。首都ウランバートル近郊に位置するフスタイ国立公園は 1993 年に特別地区に指定され、放牧管理が行われている。1993 年以前は、首都へ出荷するための家畜を肥育する放牧地として利用されていた。本研究では、フスタイ国立公園の放牧管理と周辺の放牧が、土壌の物理的・化学的性質へ与える影響を明らかにすることを目的とした。

## ②試料と方法

フスタイ国立公園の放牧管理地を 3 地点、周辺の非放牧管理地を 1 地点選定した(図 2, 3)。各地点で土壌断面調査を行い、層位別に理化学分析用試料を採取した。

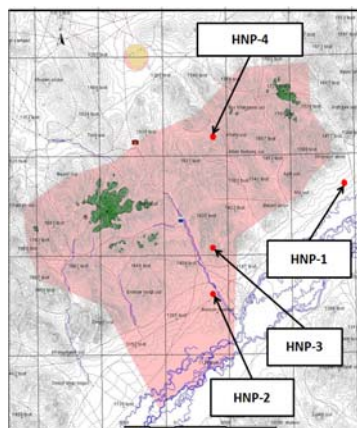


図 2 調査地点



(a) HNP-1



(b) HNP-2

図 3 HNP-1 および HNP-2 の景観

また、平坦面に位置する放牧管理地および非放牧管理地においては、表層 5cm を採取し、湿式篩別法による耐水性団粒分析を行った。

## ③結果と考察

平坦面に位置する放牧管理地および非放牧管理地について、表層の有機炭素量は放牧管理地 ( $27.3\text{gkg}^{-1}$ ) の方が非放牧管理地 ( $15.8\text{gkg}^{-1}$ ) より高い値を示した。全窒素量も同様の傾向を示した。耐水性団粒割合について、 $1.0\text{--}2.0\text{mm}$ ,  $>2.0\text{mm}$  の画分は非放牧管理地の方が高い値を、 $<0.1\text{mm}$ ,  $0.1\text{--}0.25\text{mm}$ ,  $0.25\text{--}0.5\text{mm}$ ,  $0.5\text{--}1.0\text{mm}$  の画分は放牧管理地の方が高い値を示した。粗大団粒画分 ( $>0.25\text{mm}$ ) 割合および平均重量直径は非放牧管理地 ( $52.0\%$ ,  $1.50\text{mm}$ ) の方が放牧管理地 ( $39.2\%$ ,  $0.65\text{mm}$ ) よりも高い値を示した。2 地点間で、仮比重および孔隙率に顕著な差は認められなかった。以上より、放牧管理地では、安定な団粒画分である微細団粒画分 ( $<0.25\text{mm}$ ) の割合が多いこと、非放牧管理地では、生成しやすく、破壊されやすい粗大団粒画分 ( $>0.25\text{mm}$ ) の割合が多いことが明らかになった。

(井佐美美佳・田村憲司・浅野真希・東 照雄)

## (3) $^{137}\text{Cs}$ を含む黄砂の大気経路輸送シミュレーション

### ①はじめに

$^{137}\text{Cs}$  は核分裂反応により生成する半減期約 30 年の人工放射性核種で、その外部放射線による公衆被曝が放射線リスク管理上の問題となる。1950 年代から 70 年代にかけて実施された大気圏内核実験や 1986 年のチェルノブイリ発電所事故によって、この  $^{137}\text{Cs}$  が大気圏に拡散し汚染は地球全体に及んだ。その後、大気圏内核実験の実施例はなく大規模事故も発生しなかったため大気中  $^{137}\text{Cs}$  は減少傾向を示し、1990 年代には人体へ影響を及ぼす水準ではなくなったと考えられていた。しかし日本では現在も  $^{137}\text{Cs}$  の大気降下が継続し、特に春季には降下量の増大が認められる。この現象は黄砂飛来に起因するとみられており、 $^{137}\text{Cs}$  を含む黄砂の起源地や供給プロセスの解明が求められている。そこで本研究では、大陸における砂塵発生および日本への黄砂輸送のシミュレーションを実施して、日本における黄砂および、それ由来する  $^{137}\text{Cs}$  の降下量分布を明らかにした。シミュレーションのためのモデルとして、今回は米国コロラド州立大学で開発された地域気象モデル RAMS および物質輸送モデル HYPACT を利用した。まず 20 年度および 21 年度にモンゴルで収集した現地調査・観測データとの比較により、シミュレーション結果に対する検証を繰り返して既存モデルの精度を向上させた。次に、モデルに対する十分な信頼性を確認できた段階で、今後地球温暖化等による気候変動や放牧など人為的インパクト増大によって砂



塵発生が促進される状態を想定し、北東アジアにおける将来の黄砂現象の状況および、日本における  $^{137}\text{Cs}$  の降下量の水準および分布を予測した。

#### ② $^{137}\text{Cs}$ 大気経由輸送シミュレーションのためのモデル構築

ダストモデルを組み込んだ広域輸送モデルとして ADAM、CFORCE、MAJINGAR 等がこれまでに実用化されており、いずれも 3 次元気象モデルと輸送モデルの組み合わせにより構成されている。本研究では、地域気象モデル RAMS4.4 と物質輸送モデル HYPACT をベースとした  $^{137}\text{Cs}$  輸送モデルを結合し、シミュレーション用モデルを構築した。本モデルの適用により、大陸における砂塵発生から大気経由輸送、日本における  $^{137}\text{Cs}$  沈着までの過程をシミュレート可能である。

#### ③ $^{137}\text{Cs}$ 降下量シミュレーション

構築したモデルにもとづくシミュレーションを実施し、日本における黄砂由来  $^{137}\text{Cs}$  の降下量分布を推定した。この推定結果を検証しモデルの妥当性を確かめる目的で、 $^{137}\text{Cs}$  降下量実測データを用意した。実測値データの一つは、環境放射能データベース（日本分析センター）に収録されている全国の  $^{137}\text{Cs}$  月間降下量データである。そしてもう一つは、農業環境技術研究所が独自に取得した、佐渡島における黄砂イベント時（2006 年 3 月 11 日前後）の観測データである。シミュレーションでは、大陸で発生した砂塵の粒子サイズを 1-10、10-20、20-30 及び 30-40  $\mu\text{m}$  の 4 区分に分けて輸送計算を行い、最終的に降下量を合算し求めた。

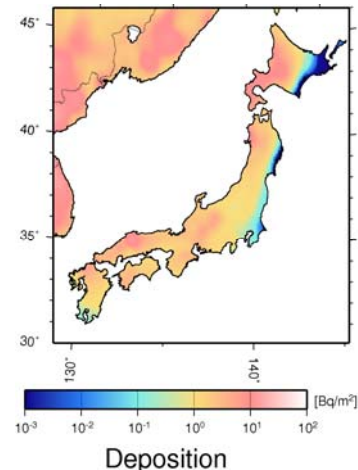
#### ④ $^{137}\text{Cs}$ 降下量将来予測シミュレーション

前章における  $^{137}\text{Cs}$  降下量シミュレーション結果の検証によって、推定モデルの信頼性を確認することができた。そこで、将来考える地表状態をシナリオとして設定し、構築したモデルを使用して各シナリオに対応するシミュレーションを実施した。

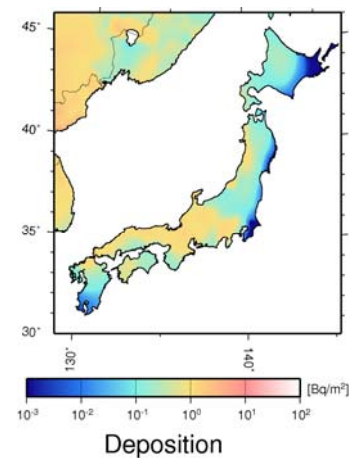
②において、モデルの標準条件の一つとして草原ならびに畑地を含む範囲を線源領域に設定した。本シナリオでは、線源領域内の草原および畑地が全て砂漠化したことを想定する。具体的には、臨界摩擦速度  $u^*t$  ならびに NDVI を砂漠のデータに置換して、計算を行った。臨界摩擦速度については、Shao ら (Shao, 2002) がグループ分けを行っている。本研究では、砂漠化をグループ A に相当するものとして、草原・畑地領域での  $u^*t$  を 0.4 以下とし、NDVI については 0 を設定しシミュレーションを行った。

以上の条件で行った日本における 3 月の  $^{137}\text{Cs}$  降下量予測の結果を図 4 に示す。線源領

域を標準（現在）のままとして、2002 年の気象条件を適用しシミュレーションを行った結果を基準とすると、砂漠化状態においては、(a)2002 年の気象条件下で平均約 20 倍、(b) 平均的な気象条件下で平均約 8 倍の  $^{137}\text{Cs}$  降下量となった。一方、線源領域を標準のままとしてシミュレーションを行って得た 1998 年から 2008 年までの平均降下量を基準とした場合、砂漠化状態においては(a)で 57 倍、(b)で 14 倍となり、大陸の砂漠化により日本における  $^{137}\text{Cs}$  降下量は大幅に増加することが示唆された。



(a) 2002 年気象条件下



(b) 2008 年（平均年）気象条件下

図 4 シナリオ①にもとづく  $^{137}\text{Cs}$  月間降下量の予測

#### ⑤ まとめ

開発したモデルにもとづくシミュレーションの結果は実測値とよく一致し、モデルの設計が妥当であることが確認できた。その上で、将来考える地表状態として①線源領域が砂漠化、②線源領域の草原地帯が砂漠化、③線源領域が緑化の 3 つのシナリオを想定し、構築したモデルを使用して  $^{137}\text{Cs}$  降下量シミュレーションを行った。その結果、シナリオ

①、②では  $^{137}\text{Cs}$  の降下量が現在の数倍～数十倍となり、大陸における砂漠化進行によって日本における  $^{137}\text{Cs}$  降下が大幅に促進されると示唆された。一方シナリオ③では、ダストストームによる大気中への  $^{137}\text{Cs}$  の舞い上がりはほぼ抑制され、日本における降下量は1/100以下の水準まで低減された。

(藤原英司・城戸寛子)

#### (4) 今後の研究の推進方策

本研究課題が3年間のため、平成22年度で終了するが、平成23年度から新たに「北東アジア半乾燥地における土壌中の環境汚染物質の動態と我が国への影響」(研究代表者：田村憲司)により、口蹄疫ウイルスをはじめとする病原性物質や環境汚染物質を本研究の成果とされる放射性核種の動態予測から我が国への移動経路及び大陸における発生源を特定化できると予想される。

また、2011年3月に発生した福島原発事故による放射性核種の北東アジアへの影響についても研究の推進が期待される。

(田村憲司)

#### 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2件)

① 田村憲司・藤原英司・鳥山和伸：  
モンゴルにおける最新土壌研究—草原土壌の生成、劣化、回復について—、  
日本土壌肥科学雑誌，81：1106-1109  
(2010) (査読あり)

② Tamura Kenji, Fujiwara Hideshi,  
Asano Maki, Jamsran Undarmaa,  
Grassland Degradation in Mongolia  
and Its Relation to Asian Dust  
Phenomena, Proceeding of Inter-  
national Symposium on “Mongolian  
Ecosystems and Desertification”  
2009：16-21 (2009) (査読なし)

[学会発表] (計5件)

① Li Min, Tamura K., Wuyunna,  
Higashi, T. Distribution Pattern of  
Vegetation and Soil Physico-chemical  
Properties under Different Grazing  
Intensities. 日本生態学会, 2011年  
3月10日, 札幌コンベンションセンター  
(札幌)

② 田村憲司・井佐美美佳・浅野眞希・  
ウンダルマー・ジャムスラン：モンゴル  
国ステップに分布する土壌の特徴、植生  
学会、2010年9月12日、北海道立道民  
活動センター (札幌)

③ TAMURA Kenji, ASANO Maki and  
JAMSRAN Undarmaa, Characteristics

of soils under the steppe vegetation  
in Mongolia. The International  
Symposium on The Collapse and  
Restoration of the Mongolian  
Ecosystem Net-work in the Context of  
Global Environmental and Social  
Changes, 2010年1月23日、総合地球  
環境学研究所 (京都)

④ TAMURA Kenji, FUJIWARA Hideshi,  
ASANO Maki and JAMSRAN  
Undarmaa, Grassland Degradation in  
Mongolia and Its Relation to Asian  
Dust Phenomena, International  
Symposium on “Mongolian Ecosystems  
and Desertification”,  
2009年10月21日、ウランバートル (モ  
ンゴル)

⑤ Asano Maki, Kenji Tamura・Yosuke  
Miyairi・Hideji Fujiwara・Yuji  
Maejima・Nobuharu Kihou・Hiroyuki  
Matsuzaki・Teruo Higashi, The  
Relationships between soil organic  
carbon and pedogenic carbonate  
carbon in the steppe soils, Mongolia.  
The 11th International Conference on  
Accelerator Mass Spectrometry,  
2008年9月18日、ローマ (イタリア)

[図書] (計1件)

① 田村憲司・程 云湘：乾燥地の自然  
(篠田雅人編)「3. 乾燥地の土壌・植生」  
古今書院、2009年、p. 69-76

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

田村 憲司 (TAMURA KENJI)

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

##### (2) 研究分担者

東 照雄 (HIGASHI TERUO)

筑波大学・大学院生命環境科学研究科・  
教授

研究者番号：20094170

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

藤原 英司 (FUJIWARA HIDESHI)

独立行政法人農業環境技術研究所・  
土壌環境研究領域・主任研究員

研究者番号：20354102

##### (3) 連携研究者

浅野 眞希 (ASANO MAKI)

慶応義塾大学法学部・助教

研究者番号：80453538