

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 14 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(B) (海外学術調査)

研究期間：2014～2016

課題番号：26304001

研究課題名(和文) 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将来予測

研究課題名(英文) Dynamics and its prediction of environmental pollutants in soils in semi-arid region, Asia

研究代表者

田村 憲司 (TAMURA, Kenji)

筑波大学・生命環境系・教授

研究者番号：70211373

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 8,600,000円

研究成果の概要(和文)：近年、アジア半乾燥地域では、家畜頭数が大幅に増え、草原の荒廃が著しい。本研究では、砂嵐発生頻度が大きいモンゴル国中央部および南部、中国内蒙古自治区北部を対象として、植生、土壌、微生物の調査を実施した。この結果から、植生被覆や土壌腐植含量など地表面状態の地域差を明らかにした。さらに、この地域の複数地点で植生被覆、土壌特性、環境汚染物質、特に、発がん性物質などを調査した。以上の調査を研究開始2年半継続実施した結果から、上記物質の我が国への影響について解析し、環境資源、野生生物の保護のための対策の必要性についてまとめた。

研究成果の概要(英文)：In semi-arid region, Asia, the livestock population has rapidly increased in recent years. Excessive grazing due to large numbers of livestock cause severe degradation of natural grassland. Furthermore, the vegetation cover of grassland has been reduced by extensive draughts caused by recent climatic changes in continental 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 that carcinogen substances were contained in Hustai National Park (HNP) - Tuur river basin and surrounding soil. It can be considerable that cansinogen substances from urban area sause contaminations suburban area. For human health, wildlife, and the environmental resource protection, it is necessary to rethink conventional wisdom about effluent treatment.

研究分野：土壌科学

キーワード：土壌 黄砂 半乾燥地 モンゴル 環境汚染物質 放射性核種 発がん性物質 アジア

1. 研究開始当初の背景

北東アジアでは、2000年代になり、大陸の半乾燥地において黄砂の原因となる砂嵐が頻発しており、2002年を最大にして、毎年、砂塵飛来が観測されていて、その影響は我が国だけでなく、北東アジア全域に広がっている。従来は中国西部の砂漠(タクラマカン砂漠など)ゴビ砂漠および黄土高原が主要な砂塵発生域と考えられてきたが、近年では、砂漠地帯よりもモンゴルや中国内蒙古自治区の草原地帯において砂嵐の発生頻度が高くなっている。その原因としては、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。

日本学術会議では、2010年2月、「黄砂・越境大気汚染物質の地球規模循環の解明とその影響対策」の中で、2010年、我が国において発生した口蹄疫の病原菌である口蹄疫ウイルスは黄砂の飛来によってもたらされていることを推測している。しかしながら、その発生源は特定化されておらず、喫緊の課題として解明する必要があることを報告している。

2. 研究の目的

申請者等は、2002年～2013年にかけて12年間、砂漠化プロセスの解明を目的としてモンゴルおよび中国内蒙古自治区の草原、砂漠を対象に調査を実施した(CREST-RAISEプロジェクト(研究代表者:杉田倫明)および科学研究費補助金(研究代表者:田村憲司))。この結果をふまえ、降水量変動や放牧強度に対する植生の感受性は、ステップやゴビステップなどの草原において極めて高いという知見が得られた。また、干ばつや過剰な放牧による負荷を受け、植生被覆が脆弱化した草原では、強風による土壌侵食(風食)が容易に進行することが判明した。この風食の進行は、大気への土壌粒子の移行として捉え直すことができ、申請者らの研究により、¹³⁷Csなどの放射性核種を土壌粒子のトレーサーとして用いて、黄砂現象の基本的原因が大陸の草原域における砂漠化にあることを明らかにした。さらに、それらの砂塵が、そこで巻き上げられ、日本へ飛来していることを解明した。そして、それら砂塵中に環境ホルモン様物質が検出された。本研究では、それら地域の表層土壌および砂塵中の発がん性物質を含む環境汚染物質の動態を解明することを目的とした。

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。土壌の特徴づけおよび環境汚染物質の分析を田村が、黄砂の同位体分析を藤原が、植生被覆の調査を上條・川田が、内生微生物については山路が担当した。また、生態系生態

学を烏雲娜(中国)が、そして、農学をウングルマー(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。詳細な方法については、研究成果の各項目で述べる。

4. 研究成果

(1) 中国内蒙古草原における植生の総一次生産速度

はじめに

中国内モンゴル自治区は総面積の70%以上が草原で占められ、牧畜を主産業としている地域である。内モンゴルのフルンポイル市のフルンポイル草原は中国北部草原の主体であり、大興安嶺とともに、砂漠化に対して防護壁的な役割を持つとされている。新バルグ右旗(旗は中国の行政上の単位)は中国内モンゴル自治区フルンポイル市の畜産業旗であり、ロシア、モンゴルと接している。右旗の草原は、典型的な *Stipa krylovii* を優占種とする草原であり、克魯倫流域の典型的な下流地区の乾草原である。気候について、温帯半乾燥季節風気候であり、年平均降水量が300mmであり、降雨は6月、7月、8月に集中している。

本研究が対象とする *Stipa krylovii* と *Allium polyrhizum* は、フルンポイル草原をはじめとする乾草原の主要構成種であり、後者は、過放牧地において優占する(川田ほか2005; 烏ほか1999, 2011; Cheng et al. 2013; Li et al. 2008)。 *Stipa krylovii* はハネガヤの一種であり、極相草原を代表する多年生草本である。 *Allium polyrhizum* はネギの一種であり、退行草原(過放牧地、荒地など)に現れる多年生草本である(川田ほか2005; Cheng et al. 2013)。このように両種は対照的かつ草原生態系に特徴的で重要な種である。従って、両種の生態的特性や生理的特性を比較することは、気候変動が草原生態系に与える影響を予測する上で有効な情報となる。そこで本研究では、湿潤年であった2014年と乾燥年であった2015年における *Stipa krylovii* と *Allium polyrhizum* を対象として、両種の個体レベルでの光応答性に関する知見を得ることを目的とし、両種のGPPの光応答性を比較することを目的とした。さらに2015年については、7月の雨前後にかけての両種の個体レベルでのGPPに対する光応答性を比較した。

方法

調査地は中国内モンゴル自治区フルンポイル市の新バルグ右旗における蘭旗廟家庭牧場(中放牧区 N48°32'28.4" - 31.7", E117°00'05.4" - 10.0")とした。調査

は、湿潤年（1月から7月の降水量が244mm）である2014年7月と乾燥年（1月から7月の降水量が75mm）である2015年7月に行った。2015年については7月25日に、一時的な雨が降り、降水量が9.1mmであり、7月全体の降雨量（21.1mm）の40%以上になった。なお、湿潤年である2014年については、全て降雨後の測定となる。

炭素吸収特性の測定は、Hirota et al (2006) のチャンバー法に従って行った。この方法では、光を透過するチャンバー内の植物体全体と土壌の炭素吸収特性を現場の生育状態（葉の角度等）のまま把握することができる。個体サイズの異なる *Stipa krylovii* と *Allium polyrhizum* を調査対象個体として選定した。選定に際しては、容量22.4ℓのチャンバー内に他種が混在しないようにすることで、個体レベル（株レベル）での炭素吸収特性を把握できるようにした。炭素吸収量（変化）は、時間あたりのチャンバー内のCO₂濃度の変化を記録することで求めた。調査した *Stipa krylovii* と *Allium polyrhizum* の総個体数は、2014年がそれぞれ5個体、2015年がそれぞれ20個体となった。

光合成の光応答特性を把握するため、寒紗と遮光シートを使い、暗状態を含む5段階の光強度を設定した。CO₂濃度と光合成有効光量子束密度の他、チャンバー内温湿度、地表温度、地下5cm温度、光強度を同時に測定した。チャンバー内の気温、チャンバー容積、CO₂濃度の変化量等から、CO₂交換速度（NEP（純生態系生産速度））を算出した。さらに、暗状態の測定値から生態系呼吸速度を求め、GPP（総一次生産速度）を算出した。さらに得られた値を測定個体の地上部バイオマスで除することで、バイオマス当たりのGPPを求めた。

結果および考察

光合成は温度影響を強く受けるため、温度とNEPを解析結果に基づき、35をしきい値として、光応答性を比較した。光応答性については、光合成有効光量子束密度が400 μmol photon·m⁻²·s⁻¹以上でおよそ飽和していたことから（図1）、400 μmol photon·m⁻²·s⁻¹以上の値を光に対して飽和したGPPの値（飽和GPP）とみなした。また、400 μmol photon·m⁻²·s⁻¹以下については、原点を通る傾きとして光に対するGPPの初期勾配を求めた（図1）。

図2には、*Stipa krylovii* と *Allium polyrhizum* の飽和GPPを示した。2015年については、降雨前、降雨後1~3日、降雨後6日目に分けて示した。なお、2014年については、35以上のデータは得ることができなかった。

Stipa krylovii のGPPは、湿潤年に比べ、乾燥年で顕著に低くなった。また、高温状態でGPPが低かった（図2）。このような傾向は、*Allium polyrhizum* も同様に見られるが、乾

燥年における降雨への反応性は大きく異なっており、*Allium polyrhizum* のGPPは、降雨直後に顕著に大きくなった。GPPは全体として、*Stipa krylovii* よりも *Allium polyrhizum* で大きな値を示したが、乾燥年の35以下の条件では、降雨直後を除くと、*Stipa krylovii* のGPPの方が大きくなった。

以上のことから、基本的には両種とも乾燥年よりも湿潤年において光合成生産力が高くなると考えられる。しかし、乾燥年における短期的な降雨の影響は両種間で大きく異なり、*Allium polyrhizum* は短期的な降雨にも影響され、一時的ではあるが降雨による水供給により高い光合成生産力を発揮することができると考えられる。また、*Allium polyrhizum* は、雨直後を除くと、高温条件においてもGPPの減少は見られず、高温ストレスに対する耐性が強いと考えられる。このような相違は両種の共存やバイオマスの年変動様式の相違と関係すると考えられる。

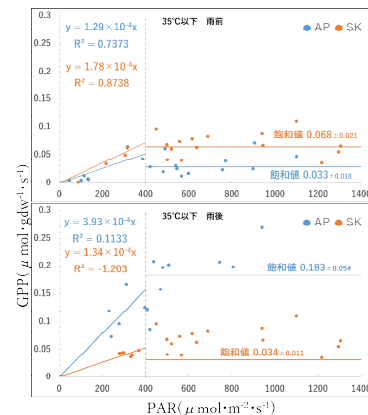


図1. 乾燥年（2015年）の降雨前（上）と降雨直後（下）におけるバイオマス当たりのGPPと光（PAR）との関係。35以下の条件のみ示した。SK: *Stipa krylovii* AP: *Allium polyrhizum*

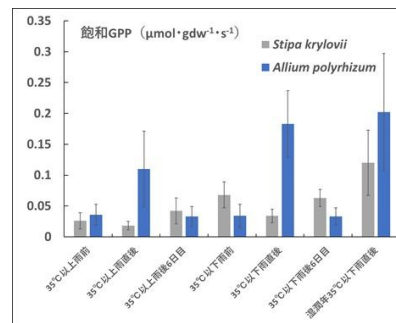


図2. *Stipa krylovii* と *Allium polyrhizum* のバイオマス当たりの飽和GPP。

乾燥年については、温度条件、雨との前後関係ごとに示した。

(2) フルンボイル草原における過放牧地の優占種 *Allium polyrhizum* の化学的防御能と内生微生物の関与

内モンゴル自治区フルンボイル草原では過放牧による草原の退行が問題となっているが、放牧の程度が強い場所において、*Allium polyrhizum* の群落内の優占順位が高いことが知られている。また、ストレス環境下では、内生菌が植物の生物的・非生物的ストレス耐性を高める役割が知られている。よって、本研究では *A. polyrhizum* の化学的防御能と内生微生物の影響を評価することで、本植物が過放牧地で優占的に分布する要因に関する知見を得ることを目的とした。放牧強度の異なる2地点の調査地で採取した植物体を比較したところ、放牧強度が強い地点では、生育に必要な栄養元素を高濃度に含有し、また化学的防御に關与するフェノール性化合物や縮合タンニンも高濃度に含有することで、家畜の摂食に対し植物が耐性を獲得している可能性が考えられた。次に、根の内生菌を分離した結果、放牧強度が強い地点では *Talaromyces pinophilus*、放牧強度が中程度の地点では *Fusarium oxysporum* が有意に高頻度で確認された。両菌種の植物体への影響を確認するため、乾燥ストレス条件下において *A. polyrhizum* 実生への両菌種の接種試験を行った。その結果、*T. pinophilus* 及び *F. oxysporum* の接種は、植物の生長量及び含有無機元素吸収を促進させなかった。一方、*F. oxysporum* の接種により総フェノール濃度が有意に増加したことから、本菌種が植物の防御能の増強に関わっている可能性が示唆された。以上のことから、現地の乾燥ストレス及び放牧ストレス環境下では、*A. polyrhizum* は *F. oxysporum* の感染により植物の化学的防御能を増強させ、家畜からの摂食ストレスに対する耐性を獲得している可能性が推察された。

(3) モンゴル国フスタイ国立公園における土壤中の環境汚染物質の解析

背景および目的

黄砂は、その表面に様々な汚染物質を吸着する。そのため吸着された物質は、黄砂とともに長距離移動するため、黄砂発生源域の土壤汚染は、黄砂による汚染物質の拡散につながる。田村らは、モンゴル国の草原地帯に位置するフスタイ国立公園(以下 HNP)の土壤を用いて環境影響を評価した。その結果、黄砂の発生源として近年重視されている HNP の広範囲で環境毒性が認められ、公園南東部を流れるトゥール川沿岸土壤からは、環境ホルモン物質にみられるエストロゲン活性が認められた。これらの結果から、HNP の土壤中には、環境汚染物質の蓄積が示唆された。本研究では、モンゴル国の HNP を調査地とし、土壤中の環境汚染物質の解析と定量を目的とした。

調査地概況

HNP は 1993 年以降、複数の制度に基づいて保護区が設置されている。遊牧民の居住を制限して野生動物の保護を行うコアゾーン(以下 CZ)と、遊牧民の居住と放牧が許可されているバッファゾーン(以下 BZ)の二区である。調査地は、HNP の草原地から計 13 地点を選定した。具体的には、CZ から 4 地点、BZ から 4 地点を選定し、さらに公園に接するトゥール川沿岸部から 5 地点選定した(図-3)。

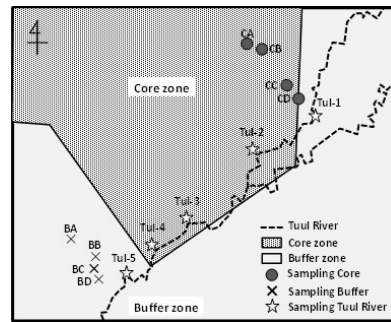


図-3 調査地点

(○ : 河川沿岸部、■ : BZ、● : CZ)

調査および方法

3.1) サンプリングおよび植生調査

移植ゴテを用いて、各地点の表層 5 cm の土壌を採取した。また同時に各地点の放牧強度を評価するため、植生調査を行った。

3.2) 分析対象物

分析対象は、エストロゲン活性を示す天然エストロゲンのエストロン、17 β -エストラジオール、エストリオールの 3 物質および、環境毒性を示す物質としては、発がん性、遺伝子毒性が示唆される多環芳香族炭化水素(以下 PAHs)の 16 物質とした。

3.3) 分析方法

3.3.1) PAH の分析法

PAH は、塚谷(2006)の方法を参考にプロトコールを作成した。HNP の内陸部および河川沿岸部から採取した土壌試料を、アセトン抽出後、濃縮して水ヘキサンで液液抽出し、PAH をヘキサンに転溶して脱水・濃縮した。次いで、濃縮液をシリカゲルカラムでクリーンアップして、ガスクロマトグラフィー質量分析計(以下 GC/MS)で分析した。

3.3.2) エストロゲンの分析法

天然エストロゲンの分析は、環境省の『外因性内分泌かく乱物質調査暫定マニュアル』の底泥における抽出操作を参考にした。HNP の河川沿岸部から採取した土壌試料を、メタノール抽出後、濃縮して、固相抽出カートリッジに吸着させた。酢酸エチル・メタノール(5:1)で溶出後、濃縮し、0.1M 塩酸・メタノールでエストロゲン抱合体を分解した。次いで、濃縮液を薄層クロマトグラフィーでクリーンアップ後、誘導体(tBDMS)化して、GC/MS で分析した。

結果及び考察

4.1) 植生調査

植被率と群落高は BZ で CZ より有意 ($P < 0.06$, $P < 0.05$) に低かった。これは保護区設置による影響であると考えられる。放牧強度が強い BZ では、土壌侵食が起こりやすいと示唆された。

4.2) PAH

PAH は、3 環のフルオレン以外の 15 物質が全ての地点で認められた。各 PAH の合計量 (PAHs) は、トゥール川沿岸の地点 Tul-2 で最も高い 32.2 ng/g の値を示し、BZ の地点 BA で最も低い 6.92 ng/g の値を示した。各調査地域の PAHs は、トゥール川沿岸土壌で 9.09-32.2 ng/g、CZ で 8.24-16.94 ng/g、BZ では 6.92-9.05 ng/g であった。これらの値は、カナダ及びオランダが定める PAHs 4 種の環境基準値および NOAA* (National Oceanic and Atmospheric Administration) が定める生体影響濃度を下回り、現状では PAH による環境および生物への影響は小さいと考える。また、BZ で CZ より低い PAHs 量が検出された。これは、BZ での高い放牧強度による土壌流出が原因であると考えられる。

4.3) エストロゲン

エストロゲンのうち、エストロンがトゥール川沿岸土壌の 5 地点全てから認められ、0.84-2.12 ng/g の値であった。土壌中エストロンによる生体影響濃度は今のところ確立されていない。そこで、環境中でのエストロンが固液平衡状態であると仮定し、土壌中濃度から河川水中濃度を推定した。その値に、英国環境庁が定めた無影響濃度をあてはめて、生体影響評価を行った結果、水生生物への生体影響が示唆された。

まとめ

HNP のトゥール川沿岸土壌には、エストロゲン活性を示すエストロンが存在し、内陸部の CZ および BZ と、河川沿岸土壌には、環境毒性(変異原性、発がん性)を示す PAH (15 種) の存在が明らかとなった。HNP 内部では放牧強度が高い BZ で、CZ より低い PAHs 量が認められた。各物質の定量結果から生体への影響評価を行ったところ、PAH による生体への影響は小さいと推定された一方、エストロンの河川中の推定値から、水生生物への生体影響が示唆された。

今後の課題

本研究で検出された、エストロンおよび PAH による黄砂発生源域とされる草原地での生態影響を明らかにするには、今後の継続した調査が重要であると考えられる。また、エストロンが検出されたトゥール川では、都市部からの下水や工場排水、金鉱からの重金属汚染など様々な汚染物質が流入している恐れがあり、沿岸部に住む人や野生動物の健康を守るため、今後は土壌に加えて、環境水や底質中の汚染物質を化学的分析により明らか

にし、環境への影響を評価することが緊急の課題であると考えられた。

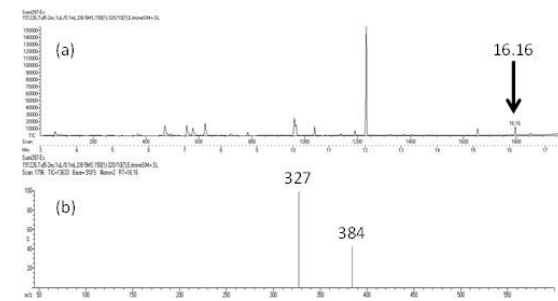


図-4 土壌試料から検出されたエストロンの(a)SIMクロマトグラム、(b)SIMスペクトル

(4) 黄砂を含む大気降下物の起源推定

東アジア地域の都市部で発生するガス状物質や人為起源粒子、半乾燥地で発生する黄砂等とともに、様々な有害物質が大陸から日本へ飛来している。本研究では特に大陸土壌および黄砂に由来する有害物質に注目し、その起源や日本への影響を解明する。本研究を進める上で、黄砂由来の有害物質を他と識別する必要があったため、放射性核種を黄砂のトレーサーとして用いる方法について検討した。最近の研究から、黄砂は放射性セシウムの一つである ^{137}Cs (セシウム-137) を含むことが明らかになっている。この ^{137}Cs は主として 1950~80 年代に実施された大気圏内核実験に由来するが、黄砂には、核反応により ^{137}Cs と同時に生成した他の放射性核種も含まれるはずである。 ^{137}Cs の濃度や量だけではなく、飛来物に含まれる複数の放射性核種の比を参照することによって、黄砂の寄与をよりの確に把握できると考えられる。以上の着想にもとづき、モンゴルの半乾燥地および日本において大気試料を採取し放射性核種を分析した。

モンゴルでは、黄砂の発源地である中央ゴビ県マンダルゴビの草原において、粒径 $10\mu\text{m}$ 以下および $50\mu\text{m}$ 以下の 2 種類の大気降下物試料を得た。一方、日本では新潟県佐渡市および茨城県つくば市において黄砂の飛来時期である 3~4 月に集中観測を実施し、1 週間毎に大気降下物を回収し試料とした。これら試料を HPGe 検出器によるガンマ線分析に供し、 ^{137}Cs 濃度および降下量を求めた。さらに、 ^{137}Cs が検出された試料については放射化学分析により ^{90}Sr (ストロンチウム-90) も測定し、両者の比を計算した。測定の結果から、モンゴルで回収した降下物の $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$ 比は、日本へ到達する黄砂の粒径範囲である粒径 $10\mu\text{m}$ 以下の試料で 4.3、より粗大な画分である $50\mu\text{m}$ 以下の試料では 5.5 を示した。一方、日本で採取した降下物について、気象庁による観測情報から黄砂飛来時のものと判断さ

れた試料では、佐渡市の試料で 4.6、つくば市の試料で 4.1 を示し、モンゴルの大気試料と近い値になった。以上より、大陸の草原地帯に由来する黄砂の $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$ 比は 4~5 であると推定される。

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 5 件)

神田隆志・田村憲司・浅野真希・乌云娜・恒川篤史・中村 徹、ユーラシアステップにおける表層土壌の土壌有機炭素に及ぼす気候および粘土含量の影響、日本砂丘学会誌、62:97-105 (2016)(査読あり)

Oguma, K., Tamura, K., Kamiyo, T., Kawada, K., Undarmaa, J., Characteristics of soil under the forest steppe in Mongolia, *J. Arid Land Studies*, 25:145-148 (2016)(査読あり)

Kanda, T., Tamura, K., Asano, M., Wyunna, Tsunekawa, A., Nakamura, T., The ^{13}C and ^{15}N natural abundances to characterize soil organic matter associated with clay minerals in Eurasian Steppe Soils. *J. Arid Land Studies*, 25: 153-156 (2016)(査読あり)

Sanderson, D.C.W., Cresswell, A. J., Tamura, K., Evaluating remediation of radionuclide contaminated forest near Iwaki, Japan, using radiometric methods. *J. Environmental Radioactivity*, 162: 118-128 (2016)(査読あり) (<https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2016.05.019>)

鈴木康平・上條隆志・Undarmaa Jamsran・小長谷有紀・田村憲司、モンゴルの森林ステップと典型ステップにおける耕作放棄地の植生回復、植生学会誌、32:37-48 (2015)(査読あり)

[学会発表](計 7 件)

胡曉星・上條隆志・乌云娜・廣田充・川田清和：乾燥年の乾草原における降雨前後 *Stipa krylovii* と *Allium polyrhizum* の個体レベルで炭素交換特性. 日本沙漠学会第 28 回学術大会(P05), 東京, 2017 年 5 月 27 日-28 日, 千葉工業大学(東京都・墨田区) 藤原英司, 世良耕一郎 (2017.5.12-13) 黄砂を含む大気降下物の PIXE 分析, 第 23 回 NMCC 共同利用研究成果発表会, (公社)日本アイソトープ協会, A-7, 岩手医科大学(岩手県・盛岡市)

胡曉星・乌云娜・廣田充・上條隆志：乾燥年の内モンゴル新バルグ右旗における *Stipa krylovii* と *Allium polyrhizum* の個体レベルでの二酸化炭素交換特性. 第 21 回植生学会大阪大会(P16), 2016 年 10 月 22-25 日, 大阪産業大学(大阪府・大東市) 石橋宇佳・山路恵子・田村憲司・乌云娜 他

フルンボイル草原における放牧ストレス強度の異なる環境に生育する *Allium polyrhizum* の化学的防御能と内生微生物、日本生態学会、東北大学(宮城県仙台市) (2016 年 3 月 20 日)

小熊宏一郎・田村憲司・川田清和・ウンダールマー・ジャムスラン、モンゴル国森林ステップ-ステップ移行帯の土壌特性、日本ペドロロジー学会、琉球大学(沖縄県・西原町) (2016 年 3 月 4 日)

Hao Li, Kiyokazu Kawada, Haruka Ohashi, Takashi Kamiyo, Undarmaa Jamsran Dynamics of *Larix sibirica* in Larix Forest - Steppe Ecotone in Terelj National Park, Mongolia International Symposium on conservation of Marine Biodiversity under Global Environmental Change/2015.11.8/タイム 24 ビル、(東京都・江東区) ポスター賞受賞

Hao Li, Kiyokazu Kawada, Haruka Ohashi, Takashi Kamiyo, Undarmaa Jamsran Age structure of *Larix sibirica* in ecotone stands between Larix forest and forest steppe in Terelj National Park, Mongolia. 58th Annual Symposium of the International Association for Vegetation Science /2015-07-19-2015-07-24 (チェコ・ブルノ)

[図書](計 1 件)

田村憲司 (2016) 黄砂、鳥取大学乾燥地研究センター、丸善出版 150 ページ

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田村 憲司 (TAMURA, KENJI)
筑波大学・生命環境系・教授
研究者番号：70211373

(2) 研究分担者

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

山路 恵子 (YAMAJI, KEIKO)
筑波大学・生命環境系・准教授
研究者番号：00420076

藤原 英司 (FUJIWARA, HIDESHI)
国立研究開発法人農業環境変動研究センター・土壌環境研究領域・研究員
研究者番号：20354102

高橋 純子 (TAKAHASHI, JUNKO)
筑波大学・生命環境系・助教
研究者番号：30714844

川田 清和 (KAWADA, KIYOKAZU)
筑波大学・生命環境系・助教
研究者番号：70529859