

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 22 日現在

機関番号：16401

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24405003

研究課題名(和文) 中国内蒙古草原生態系の炭素・窒素収支の評価および再生技術の創生

研究課題名(英文) Inner Mongolia, China

研究代表者

康 峪梅 (Kang, Yumei)

高知大学・教育研究部総合科学系・教授

研究者番号：70284429

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,400,000円

研究成果の概要(和文)：中国内モンゴル自治区では近百年の人為的活動によって、草原生態系が破壊され、砂漠化が急速に進行している。本研究の結果から、地域により放牧による草原退化への影響が異なり、通遼市>赤峰市>シリングゴル盟>ホロンバイル市の順に地上部バイオマス量、土壌の理化学性や微生物活性が低下していることがわかった。土壌の炭素収支は利用形態によって明らかな違いを示した。禁牧区(対照区)、採草区および観光客少数区では土壌に炭素が貯蔵され、観光客多数区では土壌から炭素が放出され、また放牧区では両者が均衡状態にあることがわかった。過度な観光や放牧活動によって草原土壌は炭素貯蔵機能を失うことが示された。

研究成果の概要(英文)：Grassland ecosystem has been destroyed in Inner Mongolia, China, by the anthropogenic activities in recent hundred years, and desertification progresses rapidly. The results of this study indicated that grassland degradation caused by the over grazing become sever in order of Tongliao > Chifeng > Xilingol > Hulunbuir. Compared to enclosure (control) plots, the above ground biomass and soil microbial activity decreased and the physico-chemical properties of the soils deteriorated significantly in grazing plots. Carbon budget of the soils showed distinct different patterns. Soils in enclosure, mowing and small number tourist plots stored carbon, but carbon was released from soil in the plot with plenty tourists. However carbon store and release was in balance state in the grazing plot. The grassland soil was shown to lose carbon storage function by excessive sightseeing and grazing activity.

研究分野：土壤環境学

キーワード：中国 内モンゴル 草原生態系 土壌 植生 微生物 炭素 窒素

## 1. 研究開始当初の背景

草原生態系は森林生態系と同様に地球環境の保全において重要な役割を果たしている。その一つに炭素・窒素プールとしての役割が挙げられる。草原生態系の炭素・窒素プールは陸域生態系のおおよそ 40% を占め、しかも貯蔵量の約 9 割は土壤に含まれると指摘されている。草原生態系の炭素・窒素貯蔵は放牧圧、土地利用形態、草原の管理方法などによって大きく異なることが報告されている<sup>2)</sup>。また、草原退化に伴う二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)など温室効果ガス放出量の増加が懸念されている。これまでの研究は炭素・窒素プールと温室効果ガスの放出を別々に取り上げるケースがほとんどで、草原生態系の炭素・窒素収支を一元化して評価した例は皆無である。また、従来の研究は小面積の試験地などで行われたものがほとんどで、広域の草原退化を対象とした研究例はきわめて少ない。一方、植物が生育しない氷点下以下であっても、表層由来の有機物を耐冷性微生物が緩やかに分解することで土壤を肥沃化する。寒冷地に棲息する耐冷性微生物の炭素・窒素循環における働きが注目されつつある。

## 2. 研究の目的

本研究では、狭域と広域草原生態系における炭素・窒素貯蔵量、放出量を一元化して評価し、また炭素・窒素循環における微生物の機能を解明し、さらには内モンゴルの自然環境条件に合う微生物資材の開発を研究立案することを目的とした。

## 3. 研究の方法

### (1) 狭域と広域草原生態系における土壤特性の評価

ホロンバイル市(H)のシエタラ(H-1)、イミン(H-2)、シリングル盟(S)のシーウチ(SI-1)、赤峰市(S)のハイスラム(S-1)、ジプトゥ(S-2)、通遼市(T)ナンバ(T-1)、ヌグステ(T-2)牧場の放牧区と禁牧区から表層 0 - 5 cm の土壤を採取し、風乾して 2 mm の篩に通したのち、全炭素(TC)と全窒素(TN)、並びに粒径組成(粘土(Clay)、シルト(Silt)、砂(Sand)含量)、陽イオン交換容量(CEC)について分析を行った。それぞれの区に 1m<sup>2</sup> のコドラートを 3 反復で設置し、地上部バイオマスを測定した。

### (2) 土壤呼吸速度と炭素放出量

ホロンバイル市で禁牧区、採草区、放牧区、観光地 A、観光地 B を選定した。それぞれ観光地において、多数区(観光客が多い区)と少数区(観光客が少ない区)を設定した。観

光地 A および B は近接しており、利用様式以外の条件は類似していると考えられる。それぞれの処理区において土壤呼吸量を密閉チャンバー法にて 5 月末～10 月末まで、10 日に 1 度の頻度で測定した(いずれの処理区も内径 10.5 cm、高さ 20 cm のチャンバーを 5 反復で土壤表層 5 cm に挿入した)。さらに、平均土壤呼吸量から、年間土壤呼吸量を推定し、炭素の年間放出量を算出した。また、各処理区で 5 月下旬と 8 月上旬に 3 反復で 1m×1m の枠で植生を刈り取り、80℃ で 24 時間乾燥させて、地上部バイオマスとした。

### (3) 微生物バイオマスおよび低温菌の単離

微生物バイオマス炭素(Cmic)と窒素(Nmic)を Fumigation 抽出法で測定した。生土(絶乾土 10g 相当)に 0.5 M K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> を 40ml 加えて 30 分振とう(200 rpm)し、No.6 のろ紙でろ過した。また、生土(絶乾土 10g 相当)エタノールを含まない CHCl<sub>3</sub> で 25 ので 24 時間消毒したのち上述と同様に K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 溶液で抽出した。Cmic と Nmic を下記の式で計算した。

$$Cmic = 2.64 \times (\text{消毒土 C} - \text{非消毒土 C})$$

$$Nmic = 2.22 \times (\text{消毒土 N} - \text{非消毒土 N})$$

寒冷期における土壤中の炭素・窒素循環を担う微生物、特に低温での生育能と窒素代謝能に優れた低温適応性微生物(低温菌)を単離するため、希釈度の異なる寒天培地に土壤懸濁液を塗布し、4℃ で良好に生育する低温菌の単離を試みた。寒天培地上に形成されたコロニーを採取し、再現性良く低温での生育が確認された 130 株について MALDI-TOF MS による系統解析を行った。分子質量 1 万以下のリボソームタンパク質を MALDI-TOF MS により網羅的に解析し、質量パターンから単離株の系統樹を作製した。

## 4. 研究成果

### (1) 狭域と広域草原生態系における放牧の土壤に与える影響

0-5 cm 土壤の全炭素(TC)、全窒素(TN)、シルト含量(Silt)、粘土含量(Clay)、陽イオン交換容量(CEC)は禁牧区より放牧区で減少傾向が見られ、砂含量(Sand)は禁牧区より放牧区で増加傾向がみられた(図 1, 2, 3)。これは家畜の採食により地上部バイオマスが減少したことで、土壤へ投入される有機物が減少したためと考えられる。土壤を覆っていた地上部の植生が減少することで、粘土が飛散しやすくなり、養分保持能が低下した。このように、内モンゴル自治区では広範囲にわたって過放牧により植生や土壤の理化学性が悪化していることが示唆された。

地区間で比較すると、全炭素含量は放牧区で、全窒素含量は通遼市の一点を除いて、禁

牧区と放牧区の両方でホロンバイル市、シリ  
ンゴル盟、赤峰市、通遼市の順に低くなる傾  
向を示した(図1)。この傾向は5-15cmでも  
同様に、表層土壌の炭素・窒素貯蔵量はホロ  
ンバイル市、シリンゴル盟、赤峰市、通遼市  
の順に低くなっていると推測された。

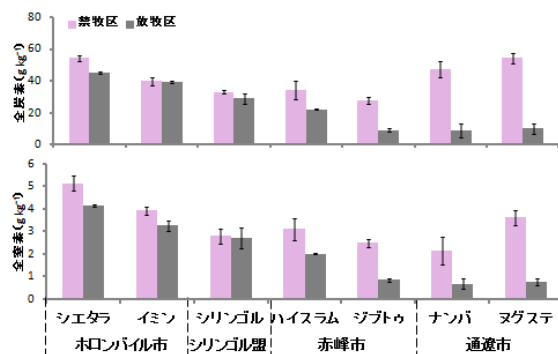


図1 土壌の全炭素と全窒素含量

CEC は地点間で変動が大きく、地域間で  
見ると赤峰市1地点と通遼市の2地点で禁  
牧区に比べ放牧区で低い値を示した。粘土含  
量も地点間での変動が大きく、CEC同様こ  
れら3地点で禁牧区に比べ、放牧区で顕著に  
低下した(図2)。

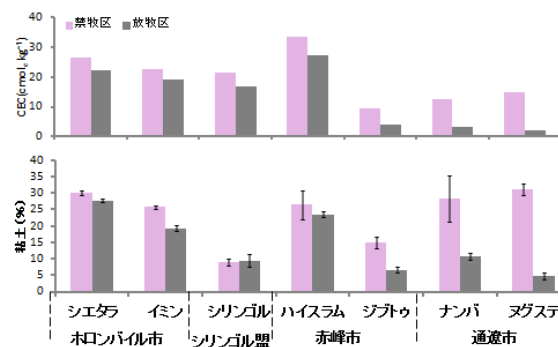


図2 土壌の粘土含量と陽イオン交換容量

シルトおよび砂含量は禁牧区では一定の  
傾向が見られなかったものの、放牧区ではシル  
ト含量がホロンバイル市、シリンゴル盟、  
赤峰市、通遼市の順に低い値を示し、砂含量  
は逆に高い値を示した(図3)。

放牧の影響を評価するために、各項目の禁  
牧区に対放牧区の比を取った。表1の中の数  
値は1のときには放牧による影響はなく、1  
より小さいか大きい場合は影響があること  
を示めす。イミン(H-2)の全炭素、シリンゴ  
ルの全窒素と粘土を除いて、全炭素、全窒素、  
CEC、粘土、シルトのいずれも放牧によっ  
て値が小さくなり、特に赤峰市のジプトゥ  
(S-2)と通遼市(T-1, T-2)で著しく低くなっ  
た。

一方、砂含量はすべての地域で1より大きい  
値を示し、特に通遼市で1.5と2と高い値を  
示した。

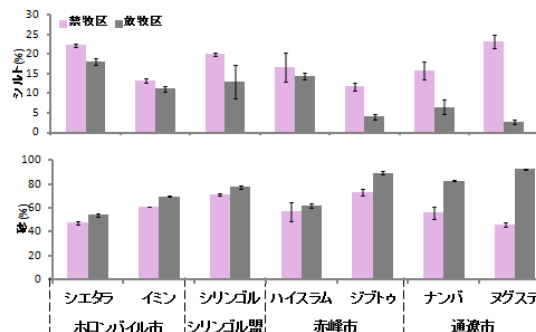


図3 土壌のシルトと砂含量

表1 各土壌パラメーターの放牧区/禁牧区比

	H		SI	S		T	
	H-1	H-2	SI-1	S-1	S-2	T-1	T-2
TC	0.8	1.0	0.9	0.7	0.3	0.2	0.2
TN	0.8	0.8	1.0	0.6	0.3	0.3	0.2
CEC	0.8	0.9	0.8	0.8	0.4	0.3	0.1
Clay	0.9	0.8	1.0	0.9	0.4	0.4	0.2
Silt	0.8	0.8	0.7	0.9	0.3	0.4	0.1
Sand	1.1	1.1	1.1	1.1	1.2	1.5	2.0

地上部バイオマスと一般理化学性の結果  
から、内モンゴル自治区では広範囲にわた  
って過放牧により植生や土壌の理化学性が悪  
化していることが示唆された。禁牧区、放牧  
区ともに通遼市>赤峰市>シリンゴル盟>  
ホロンバイル市の順に土壌の理化学性が悪  
化していた。放牧による影響は、通遼市>赤  
峰市>シリンゴル盟>ホロンバイル市の順  
に大きい。内モンゴル自治区では、地域によ  
り放牧による草原退化の影響が異なり、通遼  
市>赤峰市>シリンゴル盟>ホロンバイル  
市の順に草原退化が進んでいることが示唆  
された。植生や土壌の理化学性の悪化が放牧  
区でより顕著であることから、自然条件に加  
えて、過放牧などの人為の影響が広域の草原  
退化にさらに拍車をかけていることが明らか  
になった。

(2) 草原利用形態が土壌呼吸速度と炭素放  
出量に与える影響

土壌呼吸速度は明確な季節変動を示し、全  
ての処理区で7月10日頃に最高値を記録した  
(図4)。土壌呼吸速度の平均値は対照区、採  
草区と放牧区でそれぞれ195、174と130mgC  
m<sup>-2</sup>h<sup>-1</sup>であった。対照区と採草区の平均値に

有意差は認められなかったものの、放牧区と対照区・採草区の間には有意差が認められた。土壌から放出される炭素量は対照区、採草区と放牧区でそれぞれ 2.13, 1.97 と 1.37 MgC ha<sup>-1</sup>y<sup>-1</sup>であった(対照区 > 採草区 > 放牧区)。観光地においては、土壌呼吸速度の平均値は観光地 A 多数区で 116 mg C m<sup>-2</sup>h<sup>-1</sup>、観光地 A 少数区で 176 mg C m<sup>-2</sup>h<sup>-1</sup>、観光地 B 多数区で 182 mg C m<sup>-2</sup>h<sup>-1</sup>、観光地 B 少数区で 198 mg C m<sup>-2</sup>h<sup>-1</sup>であった。土壌から放出される炭素量はそれぞれ 1.73, 1.89, 2.15 および 1.94 MgC ha<sup>-1</sup>y<sup>-1</sup>であった(観光地 B 多数区 > 観光地 B 少数区 > 観光地 A 多数区 > 観光地 A 少数区)。土壌に還元される炭素量は、対照区、採草区、放牧区では 3.9, 2.4 と 1.4 MgC ha<sup>-1</sup>y<sup>-1</sup>であり(対照区 > 採草区 > 放牧区)、観光地 A 多数区、観光地 A 少数区、観光地 B 多数区、観光地 B 少数区では 1.4, 2.1, 1.8 および 1.7 MgC ha<sup>-1</sup>y<sup>-1</sup>であった(観光地 B 多数区 > 観光地 B 少数区 > 観光地 A 少数区 > 観光地 A 多数区)。

これらのことから対照区、採草区、観光地 A 少数区では土壌に炭素が貯留されている。観光地 B 多数区、観光地 B 少数区、観光地 A 多数区では土壌中の炭素が放出源になり、放牧区はある程度安定状態になっていることがわかった。内モンゴル自治区における 1960 年の放牧地の地上部バイオマス量は 1.76 Mg ha<sup>-1</sup>で<sup>1)</sup>、1975 年の放牧地の地上部バイオマス量は 1.2Mg ha<sup>-1</sup>であった<sup>2)</sup>。これらの値が本研究の対照区に当てはまると仮定すると、放牧区と採草区(約 20 年前に放牧利用から採草利用に変更された区)の地上部バイオマス量がそれぞれ 0.6Mg ha<sup>-1</sup>および 1.7Mg ha<sup>-1</sup>(図 5)であったことから、放牧利用では植生劣化に歯止めがかからないと考えられる。また、放牧地を採草地に変更すると、植生は回復する可能性があるものの、上述した通り、ほぼ全ての地上部バイオマスが持ちだされている現状では、それが土壌劣化の抑制には繋がらないと考えられる。つまり、植生の結果だけをみると、草原退化の対策として「放牧利用と採草利用」のローテーションはある程度有効だが、土壌肥沃度の回復・維持には休閑か現在の採草利用方式の見直しが必要だと考えられる。

### (3) 草原土壌の微生物バイオマス量および低温菌の性質

ヌグステ(T2)とハイスラム(S1)の二地点とも土壌の Cmic と Nmic は禁牧区より放牧区で有意に低かった(図 6)。この傾向は 0-5 と 5-15cm のいずれの層でも同様であった。禁牧区より放牧区での Cmic と Nmic の減少率は 0-5cm で 81.4 と 75.5%で、5-15cm では 69.5 と 67.1%であった。本研究で得られた

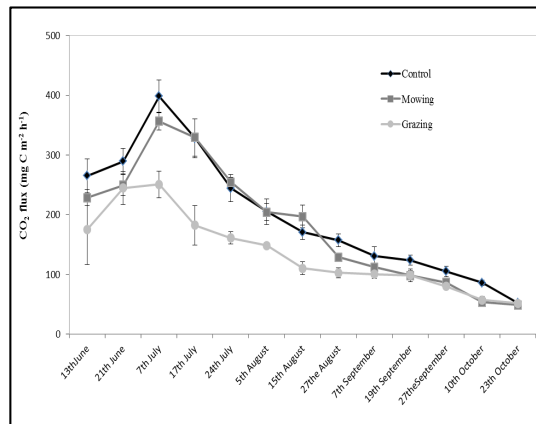


図 4 各区の土壌呼吸量

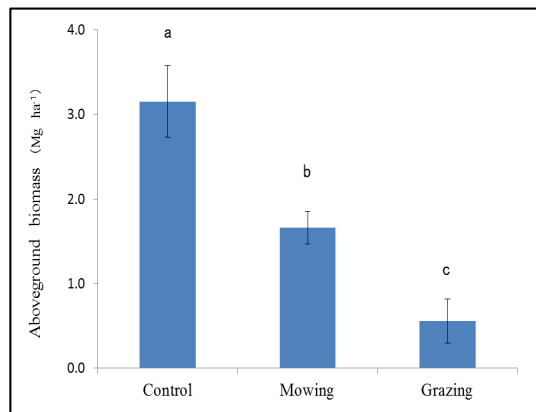


図 5 各区の地上部バイオマス

(異なるアルファベットは  $p < 0.05$  で有意であることを示す)

Cmic と Nmic の値は Xu ら<sup>3)</sup>が報告した世界の草地土壌(0.30cm)の平均値(Cmic: 521.26 mg kg<sup>-1</sup>; Nmic: 77.02 mg kg<sup>-1</sup>)と比較すると、放牧区では 1/3 以下で、禁牧区では 0.5cm でそれらの値を上回ったが、5-15cm ではそれぞれ <1/6 と 1/12 の値を示した。

また、地点間で比較すると、Cmic と Nmic は両方とも S1 で T2 より高い値を示した。さらに、Cmic と Nmic は土壌の水分含量、有機態炭素および全窒素含量と正の相関を、また塩基飽和度と負の相関を示した。T2 は土壌の水分含量、有機態炭素および全窒素含量が S1 より高いにもかかわらず、Cmic と Nmic が低かったのは pH と塩基飽和度が高く、微生物活動が阻害されたためと考えられる。

採取された低温適応性の土壌細菌は、いずれも *Pseudomonas* 属細菌に属することがわかった。また、リボソームタンパク質生産パターンに基づく系統解析から、今回単離された低温菌群は、退化土壌から単離された菌株のみで構成されるクラスター、80% 程度を草原土壌に由来する低温菌群で構成されるクラスター、退化土壌由来と草原土壌由来の低温菌群が約 50% 含む 3 つのクラスターに大別されることがわかった。これらの結果は、草原土壌と退化土壌では微生物相が異

なることを示しており,それぞれに特徴的に生産されるタンパク質,およびそれらをコードする遺伝子を同定することで,草原土壌の診断,および退化度合いを評価する指標となる可能性を示唆している。

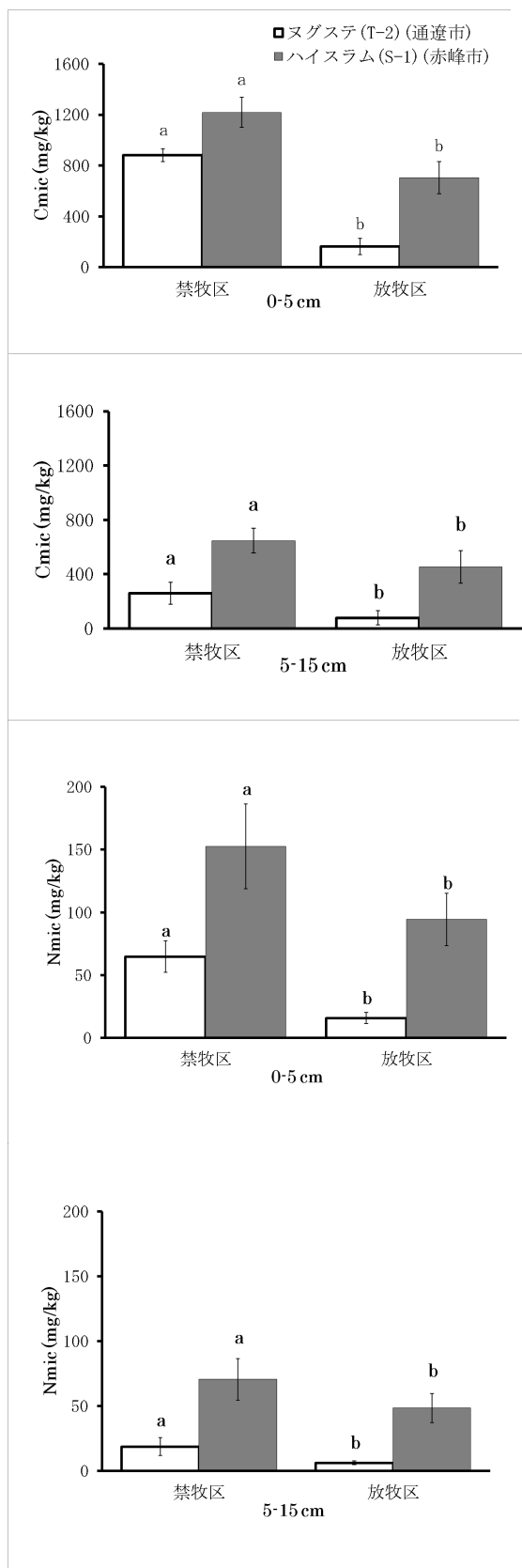


図6 土壌の微生物バイオマス炭素と窒素量

#### <引用文献>

趙一之, 羊草草原における生産量形成要因の探討,内モンゴル大学学報. 1962, 2:113-123  
 李博・孫鴻良・曾泗弟・浦漢昕 1980.フルンポイル牧畜区草地における植生資源及び利用方向の探討,自然資源,2, 1980, 30-36  
 Xiaofeng Xu, Peter E. Thornton and Wilfred M. Post, A global analysis of soil microbial biomass carbon, nitrogen and phosphorus in terrestrial ecosystems. Global Ecol. Biogeogr. 22, 2013, 737-749

#### 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7件)

斯日古楞, 伊ヶ崎健大, 角野貴信, 曹楽, 康峪梅, 楊俊, 都瓦拉, 梅栄, 小崎隆: 中国内モンゴル自治区の牧畜業において土地利用様式の違いが植生及び土壌に与える影響。ペドロジスト, 査読有, 2015(受理済)

Sugihara S., Funakawa S., Kadono A., Takata Y., Sawada K., Fujii K. and Kosaki T., In situ short-term dynamics of CO<sub>2</sub> flux and microbial biomass after simulated rainfall in dry croplands in four tropical and continental ecosystems.,” Soil Science and Plant Nutrition, 査読有, 2015(受理済)

Hayakawa C., Funakawa S., FUJII K., Kadono A. and Kosaki T., Effects of climatic and soil properties on cellulose decomposition rates in temperate and tropical forests, Biology and Fertility of Soils, 査読有, 50, 2014, 633-643

Guogang Zhang, Xiaodan Li, Yumei Kang, Guodong Han, Hongmei and Katsutoshi Sakurai, How to restore the degraded grassland and Inner Mongolia of China? Journal of Food Agriculture & Environment, 査読有, 1 (2), 2013, 1124-1127

斯日古楞, 曹楽, 伊ヶ崎健大, 角野貴信, 小崎隆, 中国内モンゴル自治区フルンポイル草原において小規模観光地が植生に与える影響, 観光科学研究, 査読有, 6, 2013, 53-59

Guogang Zhang, Xiaodan Li, Yumei Kang, Guodong Han, Hongmei and Katsutoshi Sakurai, Spatiotemporal variability of net primary production over the past half century in Inner Mongolia grassland of China, Journal of Food, Agriculture & Environment, 査読有, 10(2), 2012, 1168-1173

Yumei KANG, Influence of grassland degradation on soil and vegetation characteristics in Inner Mongolia, China. *Pedologist*, 査読有, 55(3), 2012, 332-342

[学会発表](計8件)

Jun Yang, Shaota Fukusima, Yumei Kang, Katsutoshi Sakurai: The effect of grazing on the grassland soil microbial biomass carbon and nitrogen in Inner Mongolia, China. 日本土壤肥料学会東京大会, 2014年9月9~11日

康峪梅, 金高弘幸, 櫻井克年: 草原退化に伴う土壤粘土含量および粘土鉱物組成の変化—中国内蒙古自治区シリングル盟を事例に—。日本ペトロロジー学会, 仙台市, 2013年10月25~26日

斯日古楞, 角野貴信, 伊ヶ崎健大, 小崎 隆, 康峪梅: 内モンゴル自治区フルンボイル草原において観光行動が土壤に及ぼす影響。日本ペトロロジー学会, 仙台市, 2013年10月25~26日

Jun Yang, Yu Sang, Yumei Kang and Katsutoshi Sakurai: Diversity and abundance of soil microorganism in Inner Mongolia grassland, China. 日本土壤肥料学会名古屋大会, 2013年9月11~13日

Cao Le, Kenta Ikazaki, Siriguleng, Atsunobu Kadono, Takashi Kosaki. Grassland Degradation Caused by Tourism Activities in Hulunbuir, Inner Mongolia, China. 8th International Symposium of the Digital Earth (ISDE8), マレーシア, 2013年8月26~29日

康峪梅: 内蒙古大草原の生態環境と人々の暮らし。平成25年度高知大学公開講座「自然と文化」2013年7月18日

角野貴信: 異なる生態環境下における土壤炭素動態のモデル化とその応用。鳥取県土壤肥料研究会平成25年度総会, 鳥取市, 2013年

菊地万世, 康峪梅, 櫻井克年: 微生物にいる土壤中の金属の可溶性について。日本土壤肥料学会関西支部会, 倉敷市, 2012年12月6日。

[図書](計0件)

[産業財産権]  
○出願状況(計0件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
出願年月日:  
国内外の別:

○取得状況(計0件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
出願年月日:  
取得年月日:  
国内外の別:

[その他]  
ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

康 峪梅 (KANG, Yumei)  
高知大学・教育研究部総合科学系・教授  
研究者番号: 70284429

### (2) 研究分担者

櫻井 克年 (SAKURAI, Katsutoshi)  
高知大学・その他部局・副学長  
研究者番号: 90192088

小崎 隆 (KOSAKI, Takashi)  
首都大学東京・都市環境科学研究科・教授  
研究者番号: 00144345

伊ヶ崎 健大 (IKAZAKI, Kenta)  
首都大学東京・都市環境科学研究科・助教  
研究者番号: 00144345

川本 純 (KAWAMOTO, Jun)  
京都大学・化学研究所・助教  
研究者番号: 90511238

三原 久明 (MIHARA, Hisaaki)  
立命館大学・生命科学部・教授  
研究者番号: 30324693

角野貴信 (KADONO, Atsunobu)  
鳥取環境大学・環境学部・准教授  
研究者番号: 50511234

### (3) 連携研究者

( 0 )

研究者番号: