

令和元年6月10日現在

機関番号：32641

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K07814

研究課題名(和文)半乾燥草原における冬季のCO<sub>2</sub>放出の現地観測とメカニズムの実験的解明研究課題名(英文)CO<sub>2</sub> emission during non-growing season in a semiarid grassland

研究代表者

中野 智子 (Nakano, Tomoko)

中央大学・経済学部・教授

研究者番号：70295468

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、半乾燥地域に生育する草原生態系における、秋季・冬季・春季の二酸化炭素の放出量とその放出メカニズムを明らかにすることである。2016年秋～2018年春にかけて、モンゴル国の草原におけるCO<sub>2</sub>フラックスの自動測定を実施した。その結果、土壌からのCO<sub>2</sub>の放出は秋から冬にかけて減少し、厳冬期にはゼロとなり、その後冬から春にかけて再び増大するという季節変化を示した。秋季・春季には二酸化炭素放出量は日中に増大し夜間に減少するという明らかな日変動を示し、地温の変動と高い相関を持ち、また土壌水分量の影響も与えることが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

地球温暖化の進行が危惧されている現在、その原因となる大気中のCO<sub>2</sub>濃度の変化、およびその変動メカニズムを明らかにすることは世界的にも火急の課題となっている。地球上の陸域生態系は、光合成と呼吸をとおして大気中CO<sub>2</sub>濃度に影響を与える。半乾燥地の草原生態系の特に夏以外の季節についてはCO<sub>2</sub>交換の研究例が少なく、本研究で得た観測結果およびその変動要因に関する知見は、地球上の炭素循環・気候変動を考えるうえで有用であると考えられる。

研究成果の概要(英文)：I measured the carbon dioxide flux with automatic closed chamber system through two winters from 2016 to 2018 in a semiarid grassland in Mongolia. During the mid-winter, CO<sub>2</sub> efflux rates were almost zero. In spring and autumn, CO<sub>2</sub> flux showed diurnal variation with soil temperature changes. In addition, a soil-thaw CO<sub>2</sub> pulse was observed in 2018 spring.

研究分野：炭素循環

キーワード：CO<sub>2</sub>フラックス 半乾燥地 草原生態系 温室効果気体 冬季

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

## 1. 研究開始当初の背景

土壌の凍結・融解は、地球上の寒冷地ではごくありふれた現象であるが、生物地球化学的なプロセスに影響を与え、微生物や植物の活動、大気・生態系間の炭素交換をコントロールする重要な要因の一つと考えられている。

一般にこれまでの研究では、植物が枯死し土壌が凍結している冬季においては、土壌の有機物分解はほとんど生じないと考えられ、冬季のCO<sub>2</sub>放出はゼロとして扱われることが多かった。しかしながら近年の研究で、生態系によっては氷点下の温度環境でも微生物は活発に活動し、有機物の分解を行っていることが報告され (Nobrega and Grogan, 2007) また気温が一日の中で氷点下からプラスの値まで変化し、土壌が凍結・融解を繰り返す時期には、土壌からのCO<sub>2</sub>放出が一時的に増大 (burst: パースト) することが知られるようになってきた。こうした凍結・融解サイクル時のCO<sub>2</sub>パーストはこれまで極域のツンドラ生態系 (Panikov and Dedysh, 2000) や森林生態系 (Ludwig et al., 2006) で報告されているが、乾燥地の土壌を対象とした研究はほとんど行われていない。本研究で対象とするモンゴル国半乾燥地の草原生態系においては、冬季のCO<sub>2</sub>放出の研究はこれまで皆無である。

グローバルな気候変動が進行しつつある現在、年間を通したCO<sub>2</sub>収支の経年変化を広域にわたって推定する必要がある。気候・環境変動にともなうCO<sub>2</sub>収支の時空間変動を推定するためには、環境要素をインプットデータとする数値モデルを構築することが有効であるが、そのためには冬季に関しても環境要素とCO<sub>2</sub>放出量との関係を定量的に把握し、制御メカニズムを明らかにすることが重要である。

## 2. 研究の目的

本研究において、最終的に目指しているのは、アジアの半乾燥草原における一年を通したCO<sub>2</sub>収支を明らかにし、さらには過去から現在、未来にわたるCO<sub>2</sub>収支の経年変化を広域にわたって推定し、大気中CO<sub>2</sub>濃度の変動に半乾燥草原生態系がどのように寄与しているのか評価することである。そこで本申請課題では以下の2点を具体的な目的とする。

- 1) モンゴル国の半乾燥草原において、土壌凍結時および凍結・融解サイクル時に、密閉式チャンバー法を用いたCO<sub>2</sub>フラックスの現地観測を実施し、その値を高い精度で把握する。
- 2) 土壌凍結時および凍結・融解時のCO<sub>2</sub>放出の大きさが、どのような環境要素 (土壌水分、温度の変化率、土壌中の有機炭素・窒素含有量、粘土含量など) によって規定されているのか、定量的な関係を把握し、制御メカニズムを明らかにする。

## 3. 研究の方法

### (1) 研究対象地域

本研究の対象地は、首都ウランバートルの南西約130 kmに位置するBayan Unjuul郡の草原観測地(47.05°N, 105.95°E, 標高1200 m)である。乾燥度指数の値からは、「半乾燥 (Semi-arid)」に分類される地域に含まれ、2005年~2014年の10年間を平均した年平均気温および年降水量は、0.1 および156.5 mmである。植生は典型的なステップ草原に分類され、イネ科草本 (*Agropyron cristatum*, *Cleistogenes squarrosa*, *Stipa krylovii*)、一年生広葉植物 (*Artemisia* spp., *Chenopodium* spp.) および低灌木 (*Caragana* spp.) などが見られる。

### (2) CO<sub>2</sub>フラックスおよび環境データの測定

CO<sub>2</sub>フラックスは自動開閉式チャンバーを用いて測定した。チャンバーは一辺が40 cmの立方体であり、頂部がモーターによって開閉する。2016年8月に3台の自動チャンバーを観測地点に設置し、2018年8月までの2年間の測定を実施した。チャンバーは15分間閉じ、その後15分間開くという30分サイクルの開閉を繰り返した。内部にCO<sub>2</sub>濃度分析器 (GMP343, Vaisala, Helsinki, Finland) が取り付けられており、CO<sub>2</sub>濃度を30秒ごとにデータロガー (CR1000, Campbell Scientific Inc., Logan, UT, USA) に記録し、濃度変化の勾配からCO<sub>2</sub>フラックスを算出した。

CO<sub>2</sub>フラックスの自動計測とあわせて、その制御要因となる地温・土壌水分量の測定を実施した。深さ5 cmの土壌中に温度センサーおよび土壌水分センサー (ML3 ThetaProbe, Delta-T Devices, Cambridge, UK) を設置し、30分ごとの測定値をデータロガー (GP1, Delta-T Devices) に記録した。また観測地点の近傍には、モンゴル国のInformation and Research Institute of Meteorology, Hydrology, and Environmentの気象観測ステーションがあり、気温および降水量のデータはそこの観測データを利用した。

## 4. 研究成果

### (1) 観測期間中の気象変化

図1に、2016 - 2017 および2017 - 2018の2冬季 (10月 - 4月) の気温・降水量・地温・土壌水分量の変化を示す。冬季の平均気温はそれぞれ-9.6、-10.6、また日平均気温の最低値は-32.2、-35.6であり、2017 - 2018の方がやや寒冷であった。冬季の降水量は2016 - 2017が14.7 mm、2017 - 2018が26.2 mmで、後者の方が春季の積雪量も多かった。3月前半の土壌水分量を見ると、2016 - 2017は5~6%程度であったのに対し、2017 - 2018の方は10%程

度と高くなっていた。冬季の積雪量の違いが3月の土壤水分量の違いにつながったものと考えられる。

## (2) CO<sub>2</sub> フラックスの変化

日平均気温が -10℃ を下回る厳冬期（11月～2月）には、CO<sub>2</sub> フラックスの値は測定限界以下であり、土壌からのCO<sub>2</sub> 放出はほぼゼロであったとみなすことができる。10月および3月は日中の気温がプラスとなり、凍結 - 融解のサイクルが生じていた。ここでは3月の観測結果を示す（図2）。2017年、2018年の3月のCO<sub>2</sub> フラックスの平均値（±SD）は、それぞれ  $0.05 \pm 0.04 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 、 $0.12 \pm 0.11 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  であり、3月の月平均地温は、2017年が  $-1.8 \pm 2.9$ ℃、2018年が  $0.0 \pm 5.6$ ℃ であった。一般に土壌呼吸速度は地温の影響を強く受けることが知られており、2018年の地温が高かったことが、フラックスが大きかったことの原因であると考えられる。また、両年ともCO<sub>2</sub> フラックスは、日中に増大し夜間にはほぼゼロになるという明瞭な日変化を示した。5 cm 深の地温が一日を通してマイナスの値であっても、気温がプラスに転じているときにはCO<sub>2</sub> 放出が生じており、土壌表面が少しでも融解するとCO<sub>2</sub> が発生しうることが示された。図2右を見ると、3月2日に日中の最高気温が3.6℃、地温が-4.1℃までしか上がっていないにもかかわらず、比較的大きなCO<sub>2</sub> フラックスが観測されていることが分かる。土壌からのCO<sub>2</sub> 放出は微生物の有機物分解によるCO<sub>2</sub> 生成と土壌中に蓄積されていたCO<sub>2</sub> の輸送によって生じるが、3月2日はパルス的な土壤水分の上昇が起こっており、この春最初の融雪による水分が土壌中へ供給された可能性がある。この水分の影響により、前年秋季から土壌中に蓄積されていたCO<sub>2</sub> が大気中へ放出されたものと考えられる。冬季の降水量・積雪量が少なかった2017年にはこのようなCO<sub>2</sub> 放出は起こっていない。本研究によって、冬季の降水量が春季のCO<sub>2</sub> フラックスに影響を及ぼす可能性が示唆された。

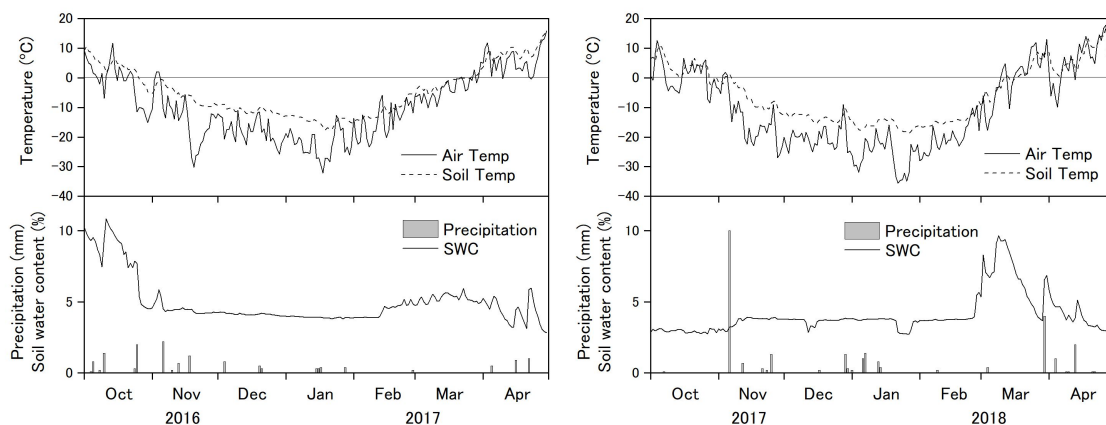


図1 2016年10月 - 2017年4月（左）および2017年10月 - 2018年4月（右）の気温・地温・土壤含水率の日平均値ならびに日降水量の変化

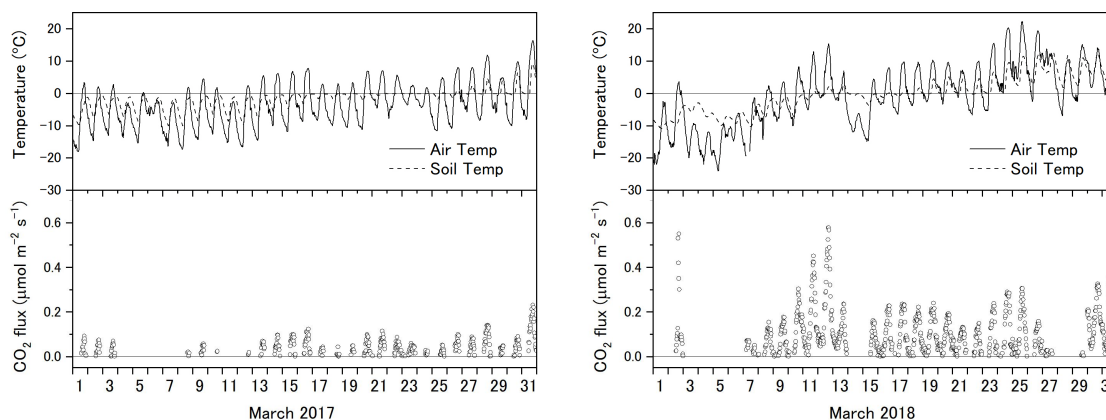


図2 2017年3月（左）および2018年3月（右）の気温・地温・CO<sub>2</sub> フラックスの変化

## < 引用文献 >

- Ludwig, B., Teepe, R., Lopes de Gerenyu, V., and Flessa, H., 2006. CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>O emissions from gleyic soils in the Russian tundra and a German forest during freeze–thaw periods—a microcosm study. *Soil Biology and Biochemistry* 38, 3516–3519.
- Nobrega, S. and Grogan, P., 2007. Deeper snow enhances winter respiration from both plant-associated and bulk soil carbon pools in birch hummock tundra. *Ecosystems* 10, 419–431.
- Panikov, N.S. and Dedysh, S.N., 2000. Cold season CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> emission from boreal peat bogs (West Siberia): Winter fluxes and thaw activation dynamics. *Global Biogeochemical Cycles* 14, 1071–1080.

## 5 . 主な発表論文等

### 〔雑誌論文〕(計2件)

- Nakano, T. and Shinoda, M., Interannual variation in net ecosystem CO<sub>2</sub> exchange and its climatic controls in a semiarid grassland of Mongolia. *Journal of Agricultural Meteorology*, 74, 92–96, 2018.
- Nakano, T. and Shinoda, M., Modeling gross primary production and ecosystem respiration in a semiarid grassland of Mongolia. *Soil Science and Plant Nutrition*, 61, 106–115, 2015.

### 〔学会発表〕(計6件)

- 中野智子・飯島慈裕・伊藤健彦, モンゴル草原生態系に対する遊牧家畜の影響評価, 日本地理学会 2018 年春季学術大会, 2018 年 3 月, 東京.
- 中野智子, 広域気象・植生データから見たモンゴル国の自然環境変動, 中央大学社会科学研究所 公開講演会「グローバル化による環境の変容と国際連携—モンゴルと近隣諸国を中心に—」, 2018 年 3 月, 東京.
- Nakano T., Iijima Y., Ito T. and Shinoda M., Carbon dioxide exchange in semiarid grasslands of Mongolia, The 4th Interdisciplinary Oxford Desert Conference, June 2017, Oxford, UK.
- 中野智子・飯島慈裕・伊藤健彦, インターバルカメラを用いた遊牧家畜による生態系への影響評価, 日本農業気象学会 2017 年全国大会, 2017 年 3 月, 十和田市.
- 中野智子・篠田雅人, 半乾燥草原生態系における CO<sub>2</sub> 交換の年々変動とその要因, 日本農業気象学会 2016 年全国大会, 2016 年 3 月, 岡山.
- 中野智子・篠田雅人, モンゴル半乾燥草原に夏季の CO<sub>2</sub> 収支の年々変動, 日本土壌肥料学会 2015 年度京都大会, 2015 年 9 月, 京都.

## 6 . 研究組織

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。