

氏名(本籍)	浦野忠朗(新潟県)
学位の種類	博士(理学)
学位記番号	博甲第5585号
学位授与年月日	平成23年2月28日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
審査研究科	生命環境科学研究科
学位論文題目	<b>Analysis of Abiotic and Biotic Factors Controlling CO<sub>2</sub> Fluxes in a Mongolian Semi-arid Steppe</b> (モンゴル半乾燥ステップのCO <sub>2</sub> フラックスをコントロールする生物的・非生物的要因の解析)
主査	筑波大学准教授 博士(理学) 廣田 充
副査	筑波大学教授 理学博士 沼田 治
副査	筑波大学教授 理学博士 濱 健夫
副査	筑波大学教授 理学博士 杉田 倫明
副査	法政大学教授 農学博士 鞠子 茂

### 論文の内容の要旨

近年、温室効果ガスであるCO<sub>2</sub>の大気中の濃度が増加している。この理由は、主に人間活動による化石燃料の消費によるCO<sub>2</sub>の放出量の増加と、CO<sub>2</sub>の吸収源である草原生態系と森林生態系の減少によるものである。モンゴルステップは、2千年以上放牧が続けられている草原生態系であり、放牧を受け続けながらも大気CO<sub>2</sub>を依然吸収していることが既存の研究で明らかにされている。しかし、モンゴルステップでは、放牧されている家畜数の増加によって過放牧状態となり植生が変化しつつある。さらに、近年の気温の上昇および降雨量の増加といった気候変動が顕著化しつつあることが指摘されている。このようなモンゴルステップにおける生物的・非生物的要因の変化が当該生態系の炭素循環にどのような影響を及ぼすかについて依然明らかになっていない。

モンゴルステップは、C3型草本のみならず高温・乾燥に適したC4型草本も生育している。両者は、光合成能力と環境適応性、放牧耐性という点で著しく異なる。よって、それらの構成比はモンゴルステップの光合成量や呼吸量の時空間変動をもたらす重要な一要因である可能性があるものの、それらが検証されたことはほとんどない。

そこで本研究では、CO<sub>2</sub>フラックスの時間変動に着目してこれに影響を及ぼす生物的・非生物的環境要因を検証することを第一の目的とした。典型的なモンゴルステップ(KBUサイト)において、家畜による被食の影響を排除できる禁牧区を設置して、群集レベルのCO<sub>2</sub>フラックス、特に総一次生産(GPP)と生態系呼吸(Re)、その差し引きである生態系純生産(NEP)を様々な環境要因とともに測定した。最終的に、これらの環境要因の影響を考慮して年間のCO<sub>2</sub>収支を推定した。

#### 1. 地上部及び地下部バイオマス、地上部リターの季節変化及び年変化

CO<sub>2</sub>フラックスの測定に先立ち、2003年と2006年に伝統的な放牧が行われている放牧区と禁牧区での地上部及び地下部バイオマスと、地上部のリター量の季節変化の測定を行った。また、光合成能力と生理特性

の異なる C3・C4 植物それぞれの地上部の成長に対する気象要因と年変動の影響を解析した。

## 2. KBU ステップの GPP に及ぼす放牧停止の長期的影響

本研究では、C3・C4 植物の CO<sub>2</sub> フラックスの成分の違い全てを同時に評価することが困難であるため、GPP のみに焦点を当てて長期的な禁牧の効果がどのように植生の構造を変化させ、GPP に影響を及ぼすかについての解析を行った。

## 3. KBU サイトの CO<sub>2</sub> フラックスの時間変化に及ぼす非生物的要因の影響

2003 年に、KBU サイトにおいて 3 月、7 月、8 月、10 月に禁牧区において CO<sub>2</sub> フラックスの測定を行い、CO<sub>2</sub> フラックスと気象要因との関係を解析した。そして、その結果を用いて年間で測定された気象データから年間の CO<sub>2</sub> フラックスの収支を推定した。

### (結果)

1. 地上部バイオマスの生育期間は他の草原に比べて短く、2003 年と 2006 年ではその期間は大きく異なった。これは、気温が低いために植物の生育期間が短いことと、その期間における降雨量パターンが C3・C4 植物の両方の成長を制御していたからである。また、地下部バイオマスは地上部バイオマスの 10 倍以上存在した。地上部バイオマスと地上部リターは放牧を停止すると生育期間を通じて増加した。
2. 放牧停止後 1 年目と 4 年目で、放牧区と禁牧区で日中の群落 GPP に量的な違いは検出されなかった。これは、禁牧により光合成能力の高い C4 植物の地上部バイオマス量が減少したこと、また、地上部バイオマスの増加に対して GPP が飽和的に増加していることを明らかにした。
3. 全ての測定期間で、日中の GPP は光合成有効放射量と、Re は気温と有意な相関が見られた。この関係を利用して一日の積算 CO<sub>2</sub> フラックス量を推定し、推定 GPP と推定 Re と環境要因との関係を多変量解析(ステップワイズ法)で解析した結果、GPP、Re が共に土壌水分量に強く制御されていることが明らかになった。特に、初夏の乾燥時における降雨後には、GPP と Re が共に大きく増加した結果、NEP が負の値となり、KBU サイトが一時的に CO<sub>2</sub> の放出源となることを明らかにした。

### (考察)

モンゴルステップの CO<sub>2</sub> フラックスは、生物的要因として放牧の影響で変化する地上部バイオマスと C3・C4 植物の比率に、非生物的要因として気温と降雨による土壌水分の変化に強く制御されることが明らかになった。この結果は、別の調査区での既存の研究結果と矛盾しない。しかし、本研究では GPP のみの結果であるものの放牧圧の変化によって植生が変化し、その結果 CO<sub>2</sub> フラックスが量的には変化しないものの、C3/C4 植物由来の比率と、単位バイオマスあたりの量という質的な変化が生じることを明らかにした。この結果は、これまでの研究では明らかにされていない複雑な群落 CO<sub>2</sub> フラックスのプロセスを解明するうえで非常に重要な知見といえる。また、CO<sub>2</sub> フラックスデータの少ないモンゴルステップにおいて、冬季、初夏、夏、秋の CO<sub>2</sub> フラックスの量と環境要因との関係についての基礎データを提供したことも本研究の重要な知見である。

以上のことから本研究は、既存の研究では評価しきれていないより複雑な CO<sub>2</sub> フラックスを制御するプロセスと、それらに影響を及ぼす生物的・非生物的要因の影響を明らかにすることに成功した。しかし本研究の調査地は遠隔地であって居住環境も厳しいこと等から、得られたデータは限定的で、気候変動と主要な人為圧である放牧強度の影響を解明するには至っていない点もある。モンゴルステップの CO<sub>2</sub> フラックス、さらに炭素循環に及ぼす生物的要因と非生物的要因の影響をより詳細に明らかにするためには、今回のような野外操作実験によるさらなる調査が必要である。また、本研究で得られた結果を時間的・空間的にスケールアップするためには、CO<sub>2</sub> フラックスの多点連続測定システムの導入や急速に発展しつつあるリモートセンシング技術の導入が不可欠と思われる。

## 審査の結果の要旨

地球温暖化の深刻化とともに、様々な生態系における炭素循環の高い精度での定量化と環境要因との関係を明らかにすることが求められている。本研究もこのような目的を掲げて、非常に厳しい環境で知られるモンゴル草原（ステップ）を対象とした炭素循環研究を行った。本研究では、夏季に集中的に現地調査を行うことで、モンゴル草原では一般的に行われている放牧（生物的環境要因）、および降雨（非生物的環境要因）が群集レベルの光合成と呼吸といったCO<sub>2</sub>フラックスに及ぼす影響を検証した。本研究によって明らかになった放牧による被食→植生構造の変化→群集レベルのCO<sub>2</sub>フラックスの変化という一連のプロセスは、ステップ草原では実証された例がほとんどなく、極めて重要な知見の一つである。また、降雨イベントは非常に乾燥したステップ草原の物質循環を規定する重大な環境要因の一つであり、それが群集レベルのCO<sub>2</sub>フラックスに及ぼす影響を評価した本研究の学術的価値も高い。データ不足という側面があるものの、降雨イベント自体が非常に稀なモンゴルステップにおいて、その影響を実測データから示した点は評価できる。厳しい環境下において長期に及ぶ調査を敢行したことや有用なデータや知見が少ない中で本論文をまとめたことなども、本論文で評価できる点の一つであるとともに、今後の発展も期待できる。

よって、著者は博士（理学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。