

降水量の変化が東シベリアタイガ生態系における 炭素収支および地球温暖化ポテンシャルに及ぼす影響

学位論文内容の要旨

ロシアの森林は北半球の森林の炭素蓄積量の約5割を占める巨大な炭素プールであり、かつ炭素の大きなシンクであると考えられている。東シベリア地方は連続永久凍土分布域に属する寒冷で乾燥した気候であり、年降水量は200–300 mmと半乾燥地並みに少なく、土壌水分と可給性窒素が森林の生育の律速となっていると言われている。将来の地球温暖化に伴ってこの地域においては降水量や激しい降雨イベントの増加が起こると言われている。生態系の炭素収支に大きな役割を果たす土壌呼吸量は土壌水分率の増加に伴って増加すると言われ、地球温暖化に伴う降雨パターンの変化がこの地域の炭素収支に大きな影響を与える可能性がある。さらに土壌水分率の増加は CH_4 や N_2O といった温室効果ガスの放出も促進させると考えられるため、地球温暖化に正のフィードバックをもたらす可能性がある。そこで本研究では、東シベリアのヤクーツク近郊のグイマツ林にて降水に対する林床からの温室効果ガスフラックスの反応を調べ、それらが生態系の炭素収支や地球温暖化ポテンシャルにどのような影響を与えるのかを調べることを目的とした。

1. 調査は東シベリアのヤクーツク近郊にある Spasskaya-Pad 実験林(62°15'N, 129°37'E)内の180年生グイマツ林にて、2003年5月~2005年9月、2008年8月、2009年8月に行った。O層表面からの CO_2 、 CH_4 、 N_2O フラックス、鉱質土壌における CO_2 、 CH_4 、 N_2O 生成速度、微生物呼吸速度を測定したほか、露地雨、林内雨、樹幹流、リターフォール、窒素固定速度、脱窒速度を測定し、さらに木部生長速度、細根の枯死還元速度を文献値から推定して生態系に関わる各炭素および窒素フローを求めた。

2. 2004年7月にグイマツ林内の一区画にこの地域の夏期の降水量に匹敵する量の灌水(計120 mm)を6日間に分けて行うことで激しい降雨イベントを模し、灌水前と灌水中の各温室効果ガスフラックス、微生物呼吸速度、土壌中の各温室効果ガスの生成速度を観測した。灌水前には土壌は乾燥していた。灌水によって灌水区では無灌水区に比べて地温と土壌水分率が高まった。灌水期間中の土壌表面からの CO_2 、 N_2O フラックスと土壌全層の微生物呼吸速度はそれぞれ灌水区において無灌水区よりも高く(それぞれ1.6倍、8.0倍、1.9倍)、 CH_4 吸収速度は灌水区において無灌水区よりも低くなり(0.4倍)、激しい降雨イベントがこれらの放出を促進させる事が示唆された。土壌水分率は土壌全層の微生物呼吸速度とO層における CH_4 生成速度に正の影響を与え、根呼吸速度に負の影響を与えていた。地温はO層における微生物呼吸速度と根呼吸速度に正の影響を与えていた。土壌の地球温暖化ポテンシャルは主に微生物呼吸の影響を受けていた。これらのことから、本調査地で乾燥した土壌に激しい降雨イベントがもたらされると地温と土壌水分率が上昇し、土壌有機物の分解を促進させると考えられた。

3. 2003年~2005年のそれぞれ7月に土壌表面からの各温室効果ガスフラックスと微生物呼吸速度を測定して年次間比較を行った。また地表から20 cm深の土壌水中の溶存有機態

炭素(DOC)、 NO_3^- 、 NH_4^+ 、カチオン濃度を測定した。2003、2004、2005年の測定期間中の降水量はそれぞれ50.5、3.7、84.1 mmであり、2003年と2005年をそれぞれ湿潤年、2004年を乾燥年と定義した。 CO_2 、 N_2O フラックス、微生物呼吸速度の平均値はいずれも湿潤年において乾燥年よりも高い値を示した(それぞれ1.9-2.5倍、4.2倍、2.3-3.9倍)。これらは地温や土壌水分率と正の相関を示した。また乾燥年にDOC濃度の上昇が見られ、この年に乾燥による従属栄養生物の不活性化とそれに伴う両フラックスの低下が起きたことが示唆された。一方 CH_4 フラックスの平均値には年次間差が見られず、地温や土壌水分とも相関が無かった。これにより、乾燥年には CH_4 酸化が乾燥ストレスによって制限されるために、湿潤年と比べて土壌の拡散係数が高くなるにも関わらず、 CH_4 酸化速度が高まらなかったことが示唆された。土壌溶液中の NO_3^- 、 NH_4^+ 、カチオン濃度には年次間差が無く、これらの供給量が温室効果ガスフラックスの年次間差に与える影響は小さかったと考えられる。

4. 2003年から2005年にグイマツ林生態系内の各炭素および窒素フローを測定し、降水量の違いによる土壌有機物分解量の変化と、それにとまなう利用可能な窒素の土壌中への放出量の変化が生態系の炭素収支に与える影響を調べた。前項と同様に2003年と2005年をそれぞれ湿潤年、2004年を乾燥年と定義した。本調査地における土壌有機物分解量は湿潤年である2003年と2005年に大きく(それぞれ 3.1 ± 0.2 、 $3.0 \pm 0.2 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$)、乾燥年である2004年に小さくなった($2.2 \pm 0.2 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$)。これに対してグイマツの純一次生産量(NPP)には大きな年次変動が見られず(2003年、2004年、2005年においてそれぞれ 1.2 ± 0.7 、 1.3 ± 0.7 、 $-1.8 \pm 0.7 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$)、それらの差し引きで表される純生態系生産量(NEP)は2003年、2004年、2005年においてそれぞれ -2.0 ± 0.7 、 -1.0 ± 0.7 、 $-1.8 \pm 0.7 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ と乾燥年に大きくなった。このことから、湿潤年には土壌有機物分解量が大きくなり、生態系からの炭素放出量が大きくなることが示された。一方土壌系の窒素収支は正味の蓄積を示し、湿潤年と乾燥年との間で大きな違いが見られなかった(2003年、2004年、2005年にそれぞれ 3.8 ± 7.6 、 2.7 ± 15.7 、 $2.6 \pm 3.7 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$)。このことから、湿潤年に土壌有機物分解量の増加に伴って利用可能な窒素が土壌中へ放出される量が増えても、植生吸収や脱窒などによって土壌系外に流出せず、おそらく土壌微生物によって保持されたと考えられた。よって降水量の増加による土壌有機物分解量の増加に伴う窒素の放出は、すぐにグイマツのNPPに影響を与えるわけではないと考えられるが、将来にわたって土壌有機物分解による炭素放出とともに窒素の蓄積が続くと土壌のCN比が低下し、硝化速度が大きくなることでグイマツへの窒素供給量が増えてNPPが増えるほか、硝化とそれに続く脱窒に伴い N_2O の放出量が増える可能性がある。

5. 以上のことから年降水量の増加はこの地域の森林生態系の炭素収支や地球温暖化ポテンシャルに大きな影響を与えることが示唆された。また乾燥年においては激しい降雨イベントが微生物呼吸速度、 CH_4 フラックス、 N_2O フラックスを上昇させたが、それぞれの年間積算フラックスに与える影響は小さいと考えられた。将来の降水量増加がこの地域の森林生態系における炭素収支に与える影響をより正確に予測するためには、降水量の増加に伴うグイマツの枯死の可能性について考慮することが必要である。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 波多野 隆 介
副 査 教 授 小 池 孝 良
副 査 教 授 橋 床 泰 之
副 査 教 授 平 野 高 司

学位論文題名

降水量の変化が東シベリアタイガ生態系における 炭素収支および地球温暖化ポテンシャルに及ぼす影響

本論文は8章からなり図67、表41、引用文献266を含む154ページの和文論文であり、他に参考論文2編が添えられている。

ロシアの森林は北半球の森林の炭素蓄積量の約5割を占める巨大な炭素プールであり、かつ炭素の大きなシンクである。東シベリアは連続永久凍土分布域に属し、年降水量200-300 mmの半乾燥地であり、土壌水分と可給性窒素が森林の生育の律速となっているとされている。ところが将来の地球温暖化に伴ってこの地域は降水量や激しい降雨イベントの増加が起これると言われている。土壌水分率の増加に伴って土壌呼吸量が増加し、炭素収支に大きな影響を与える可能性があり、さらにCH₄やN₂Oといった温室効果ガスの放出も促進させると考えられるため、地球温暖化に正のフィードバックをもたらす可能性がある。そこで本研究では、東シベリアのヤクーツク近郊のグイマツ林において降水に対する林床からの温室効果ガスフラックスの反応と樹木の生長速度を調べ、それらが生態系の炭素収支や地球温暖化ポテンシャルにどのような影響を与えるのかを調べることを目的とした。

調査はヤクーツク近郊にある180年生グイマツ林(62°15'N, 129°37'E)にて、2003年～2009年にかけて行った。土壌表面からのCO₂、CH₄、N₂Oフラックス、微生物呼吸速度を測定したほか、露地雨、林内雨、樹幹流、リターフォール、窒素固定速度、脱窒速度を測定し、さらに木部生長速度、細根の枯死還元速度を文献値から推定して生態系に関わる各炭素および窒素フローを求めた。

2004年7月にグイマツ林内の一区画にこの地域の夏期の降水量に匹敵する量の灌水を行うことで激しい降雨イベントを模し、灌水前と灌水中の各温室効果ガスフラックスおよび微生物呼吸速度を観測した。灌水前には土壌は乾燥していた。灌水期間中の土壌表面からのCO₂、N₂Oフラックスと微生物呼吸速度はそれぞれ灌水区において無灌水区よりも高く(それぞれ1.6倍、8.0倍、1.9倍)、CH₄吸収速度は灌水区において無灌水区よりも低くなり(0.4倍)、激しい降雨イベントがこれらの放出を促進させる事が示唆された。

2003年～2005年のそれぞれ7月に土壌表面からの各温室効果ガスフラックスと微生物呼吸速度を測定して年次間比較を行った。2003、2004、2005年の測定期間中の降水量はそれぞれ50.5、3.7、84.1 mm

であり、2003年と2005年をそれぞれ湿潤年、2004年を乾燥年と定義した。CO₂、N₂Oフラックス、微生物呼吸速度の平均値はいずれも湿潤年において乾燥年よりも高い値を示した(それぞれ1.9-2.5倍、4.2倍、2.3-3.9倍)。これらは地温や土壤水分率と正の相関を示した。一方CH₄フラックスの平均値には年次間差が見られず、地温や土壤水分とも相関が無かった。

2003年から2005年にグイマツ林生態系内の各炭素および窒素フローを測定し、降水量の違いによる土壤有機物分解量の変化と、それにもなう利用可能な窒素の土壤中への放出量の変化が生態系の炭素収支に与える影響を調べた。土壤有機物分解量は湿潤年である2003年と2005年に大きく(それぞれ 3.1 ± 0.2 、 3.0 ± 0.2 Mg C ha⁻¹ y⁻¹)、乾燥年である2004年に小さくなった(2.2 ± 0.2 Mg C ha⁻¹ y⁻¹)。これに対してグイマツの純一次生産量(NPP)には大きな年次変動が見られず(2003年、2004年、2005年においてそれぞれ 1.2 ± 0.7 、 1.3 ± 0.7 、 -1.8 ± 0.7 Mg C ha⁻¹ y⁻¹)、NPPと土壤有機物分解量の差として得られる純生態系生産量(NEP)は2003年、2004年、2005年においてそれぞれ -2.0 ± 0.7 、 -1.0 ± 0.7 、 -1.8 ± 0.7 Mg C ha⁻¹ y⁻¹と乾燥年に大きくなった。このことから、湿潤年には土壤有機物分解量が大きくなり、生態系からの炭素放出量が大きくなることが示された。一方、土壤系の窒素収支は正味の蓄積を示し、湿潤年と乾燥年との間で大きな違いが見られなかった(2003年、2004年、2005年にそれぞれ 3.8 ± 7.6 、 2.7 ± 15.7 、 2.6 ± 3.7 kg N ha⁻¹ y⁻¹)。このことから、湿潤年に土壤有機物分解量の増加に伴って利用可能な窒素が土壤中へ放出される量が増えても、植生吸収や脱窒などによって土壤系外に流出せず、おそらく土壤微生物によって保持されたと考えられた。しかし、将来にわたる生態系からの炭素放出と窒素蓄積は、土壤のCN比を低下させ硝化速度を大きくすると考えられる。このことはグイマツへの窒素供給量を増やしNPPを増やす正の効果と、硝化とそれに続く脱窒に伴うN₂O放出量を増やす負の効果を持っており、今後監視する必要があると考えられた。

以上のように本研究は、東シベリア永久凍土地帯の降水量の増加はこの地域の森林生態系の炭素収支や地球温暖化ポテンシャルに大きな影響を与えることを示したものであり、今後の地球温暖化の予測とその対策に貢献するものである。よって審査員一同は、小出隆広が博士(農学)の学位を受けるに十分な資格を有するものと認めた。