

学位論文題名

台風による自然攪乱が北方森林生態系の炭素交換量 および蓄積量に与える影響

学位論文内容の要旨

森林生態系は主要な温室効果気体である二酸化炭素 (CO₂) の吸収源 (シンク) として期待されているが、様々な自然攪乱や伐採などの人為攪乱にともなう植生と環境の変化により、森林生態系の炭素収支が大きく変化することがわかってきた。台風は東アジアの森林生態系における主要な攪乱要因であり、しばしば壊滅的な強風被害を与えてきた。今後、地球温暖化にともない強大な台風の発生割合が増加することが懸念されている。また、日本では伐採適齢期を超えた人工林が増加しているが、このような森林は風倒害を受ける可能性が高いといわれている。しかし、台風などによる強風被害が森林生態系の炭素収支に与える影響に関する研究例はほとんどなく、実測に基づいた定量的な評価が求められている。

2004年9月に台風18号が北海道西岸を通過し、北海道各地の森林に被害総面積37,000 haに及ぶ大規模な風倒被害をもたらした。本研究では、台風18号により壊滅的な被害を受けた苫小牧国有林の約50年生のカラマツ林風倒害跡地を対象として、攪乱後の2006~2009年に植生、微気象、炭素蓄積量およびCO₂フラックスの測定を行い、植生遷移の初期過程における炭素収支の変化を定量化するとともに、攪乱前の実測データを利用して、台風による自然攪乱が北方森林生態系の炭素交換量および蓄積量に与える影響を明らかにすることを目的とした。なお、本研究サイトでは、2000年から北方森林の炭素循環機能に関する調査研究が実施され、バイオマスや微気象、CO₂フラックスなどの測定が行われてきたが、台風18号により樹木の90%以上が倒伏し、研究が中断された。その後、風倒木は搬出され、枝や寝返りした切株などはそのまま残された。

1) 攪乱により、本研究サイトはカラマツ林からエゾイチゴが優占する群落へと変化した。攪乱前の林床にはオシダやシラネワラビなどのシダ類が繁茂していたが、攪乱にともないシダ類は減少し、これまで観察されなかったエゾイチゴが繁茂するようになった。地上部バイオマス (AGB) の年最大値は、攪乱前の91 Mg ha⁻¹から攪乱2年後 (2006年) には2.7 Mg ha⁻¹にまで減少した。一方、葉面積指数 (LAI) の年最大値は9.4 m² m⁻²から3.7 m² m⁻²まで減少したが、その減少割合はAGBほど大きくはなかった。その後、AGBは2009年にかけて増加を続けたが、LAIはほとんど変化しなかった。この原因として、エゾイチゴの2年目茎が増加したことと、1年目茎とのフェノロジーの違いが示唆された。

2) 攪乱によって群落構造が大きく変化し、LAIが低下した結果、微気象環境が変化した。攪乱後は夏期の地温が上昇し、その日較差も大きくなった。また、群落高付近における昼間の大気飽差 (VPD) も上昇するとともに、夏期に土壤水分が低下する傾向が認められた。地表面を覆う植物が

減少したことにより、土壌表面に到達する日射量が増加し、地温が上昇したと考えられる。また、植生の減少によって蒸散量が減少する一方、土壌面からの蒸発量は増加し、結果として土壌が乾燥するようになったと考えられる。

3) 自動開閉型の大型チャンバーシステムを用いて、2006～2008年の無積雪期間に純生態系生産量 (NEP) を連続観測した。2006年のNEPは、6～7月に $0 \text{ gC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 付近であったが、2007年は5月から7月中旬まで正の値 (CO_2 シンク) を維持した。2008年は、観測開始直後の7月上旬には $0 \text{ gC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 程度であったが、その後8月まで減少を続けた。8月以降のNEPは3年間ともに同様に変化し、9月下旬に $0 \text{ gC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 近くまで増加した後、再び減少した (CO_2 ソース)。生態系呼吸量 (RE) は地温と同様な季節変化を示し、8月に最大値に達した。また、REの季節変化は3年間でほぼ同様であった。生態系光合成量 (GPP) は、2006年は8月上旬に、2007年は6月下旬に年最大値に達した。また、年最大GPPは2006年より2007年の方が30%程度大きかった。2008年については、観測開始直後の7月上旬にGPPは最も大きかった。3年間の共通観測期間 (6月28日～11月11日、4.5ヵ月間) におけるGPPとREの積算値は、それぞれ 411 ± 27 , $489 \pm 5 \text{ gC m}^{-2}$ となり、有意な年次間差は認められなかった。また、攪乱前3年間 (2001～2003年) の渦相関法による測定結果 (平均値) と比較すると、GPPは64%、REは51%、それぞれ減少した。その結果、積算NEPは $159 \pm 57 \text{ gC m}^{-2}$ から $-80 \pm 30 \text{ gC m}^{-2}$ に減少した。なお、2007年について5～6月の観測結果も含めて年積算値を推定したところ、NEPは $-31 \text{ gC m}^{-2} \text{ y}^{-1}$ となったが、残置された切株の分解にともなう CO_2 放出を考慮すると、風倒害跡地の年積算NEPは $-91 \text{ gC m}^{-2} \text{ y}^{-1}$ と推定された。切株からの CO_2 放出量はREの約5%であった。

4) 刈取りなどの生態学的方法により求めた攪乱後の地上部純一次生産量 (NPP_A) の平均値は $145 \text{ gC m}^{-2} \text{ y}^{-1}$ で、経年変化はほとんどなかった。また、 NPP_A の半分以上がエゾイチゴによるものであった。攪乱後の土壌炭素量 (0～20 cm 深) は 43.7 Mg ha^{-1} で、攪乱前後でほとんど変化しなかった。リターバック法より求めた残置された枝と側根からの炭素放出量は、2006年にはそれぞれ71, $27 \text{ gC m}^{-2} \text{ y}^{-1}$ であったが、2009年には33, $18 \text{ gC m}^{-2} \text{ y}^{-1}$ に減少した。さらに、切株からの CO_2 放出量を加えると、2007年の年積算NEPは $-22 \text{ gC m}^{-2} \text{ y}^{-1}$ と推定された。チャンバー法による推定値との差が $69 \text{ gC m}^{-2} \text{ y}^{-1}$ あるが、台風による大規模な攪乱により、カラマツ林が CO_2 のシンク (2001～2003年の平均NEP: $276 \text{ gC m}^{-2} \text{ y}^{-1}$) から比較的弱いソースに変化したことが明らかとなった。

5) 攪乱にともなうLAIの減少と植生の変化により、夏期の最大GPPは $30 \sim 45 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ から $8 \sim 12 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ に大きく減少した。また、夏期の地温の上昇と日較差の増大は、REを増加させる効果を持つ。しかし、夏期の土壌水分の低下はREを低下させた。一方、攪乱により群落高の大気が昼間乾燥し (VPD上昇) し、GPPを減少させた。このように、台風による攪乱は、RE (CO_2 放出) よりもGPP (CO_2 吸収) に大きな影響を与え、結果としてNEPの低下を招いた。既往の研究より、攪乱後10年程度はエゾイチゴが繁茂し、高木類の成長が抑制されると予測される。そのため、本研究サイトの CO_2 収支も大きく変化せず、弱い CO_2 ソースか、 CO_2 の放出と吸収が釣り合った状態がしばらく続く可能性がある。

台風による大規模な風倒被害を受けたカラマツ林において、植生遷移の初期過程における炭素収支を定量化することができた。また、攪乱前のデータと比較することで、風倒による攪乱が炭素交換量および蓄積量に与える影響を評価することができた。本研究は、攪乱後の森林生態系における炭素管理に対して有益な知見を提供できると考える。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 平 野 高 司

副 査 教 授 浦 野 慎 一

副 査 教 授 波 多 野 隆 介

学 位 論 文 題 名

台風による自然攪乱が北方森林生態系の炭素交換量 および蓄積量に与える影響

本論文は6章からなり、図38、表12、引用文献69を含む106ページの和文論文で、参考論文3編が添えられている。

森林生態系は二酸化炭素 (CO_2) の吸収源として期待されているが、攪乱によって炭素収支が大きく変化することがわかってきた。台風は東アジアにおける主要な攪乱要因であり、しばしば壊滅的な強風被害を与えてきた。今後、温暖化にともない強大な台風の発生割合が増加することが懸念されている。また、日本では伐採適齢期を超えた老齢林が増加しているが、このような森林は風倒害を受ける可能性が高い。しかし、強風被害が森林生態系の炭素収支に与える影響に関する研究例はほとんどない。本研究では、2004年の台風18号により壊滅的な被害を受けた苫小牧のカラマツ林風倒害跡地を対象に、攪乱後の2006~2009年に植生、気象、炭素蓄積量および CO_2 フラックスを測定し、植生遷移の初期過程における炭素収支の変化を定量化するとともに、攪乱前の実測データを利用して、台風による自然攪乱が北方森林生態系の炭素交換量および蓄積量に与える影響を明らかにすることを目的とした。

研究サイトはエゾイチゴが優占する群落へと変化した。地上部バイオマス (AGB) の年最大値は、攪乱前の 91 Mg ha^{-1} から攪乱2年後には 2.7 Mg ha^{-1} まで減少した。一方、葉面積指数 (LAI) の年最大値は $9.4 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ から $3.7 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ に減少したが、その減少割合はAGBほど大きくはなかった。その後、AGBは2009年にかけて増加を続けたが、LAIはほとんど変化しなかった。

攪乱によって群落構造が大きく変化した結果、環境が変化した。攪乱後は地温が上昇し、その日較差も大きくなった。また、群落高付近における昼間の大気飽差が上昇し、土壌水分が低下する傾向がみられた。植生が減少したため土壌表面に到達する日射量が増加し、地温が上昇したと考えられる。また、植生の減少によって蒸散量が減少する一方、土壌面からの蒸発量は増加し、結果として土壌が乾燥するようになったと考えられる。

自動開閉チャンバーを用いて、2006~2008年の無積雪期間に純生態系生産量 (NEP) を連続観測した。2006年のNEPは、6~7月にゼロ付近であったが、2007年は5月から7月中旬まで正の値 (CO_2 シンク) を維持した。2008年は、7月上旬にはほぼゼロであったが、その後8月まで減少を続けた。

8月以降のNEPは3年間ともに同様に変化し、9月下旬にゼロ近くまで増加した後、再び減少した。生態系呼吸量(RE)は地温と同様な季節変化を示し、8月に最大に達した。生態系光合成量(GPP)は、2006年は8月上旬に、2007年は6月下旬に年最大値に達した。また、年最大GPPは2006年より2007年の方が約30%大きかった。3年間の共通観測期間(約4.5ヵ月間)のGPPとREの積算値は、それぞれ 411 ± 27 、 489 ± 5 gC m^{-2} となり、有意な年次間差は認められなかった。また、攪乱前3年間の渦相関法による測定結果と比較すると、GPPは64%、REは51%、それぞれ減少した。その結果、積算NEPは 159 ± 57 gC m^{-2} から -80 ± 30 gC m^{-2} に減少した。なお2007年について、切株の分解による CO_2 放出を考慮して年積算NEPを推定したところ、 -91 $\text{gC m}^{-2} \text{y}^{-1}$ となった。

生態学的方法により求めた攪乱後の地上部純一次生産量は 145 $\text{gC m}^{-2} \text{y}^{-1}$ で、経年変化はほとんどなかった。攪乱後の土壌炭素量(0~20 cm深)は 43.7 MgC ha^{-1} で、攪乱前後でほとんど変化しなかった。残置された枝と側根からの炭素放出量は、2006年にはそれぞれ 71 、 27 $\text{gC m}^{-2} \text{y}^{-1}$ であったが、2009年には 33 、 18 $\text{gC m}^{-2} \text{y}^{-1}$ に減少した。さらに、切株からの CO_2 放出量を加えると、2007年の年積算NEPは -22 $\text{gC m}^{-2} \text{y}^{-1}$ と推定された。チャンパー法による推定値との間には少し差があるが、台風による大規模な攪乱によりカラマツ林が CO_2 シンク(276 $\text{gC m}^{-2} \text{y}^{-1}$)から比較的弱いソースに変化したことが明らかとなった。

台風による大規模な風倒被害を受けたカラマツ林において、植生遷移の初期過程における炭素収支を定量化することができた。また、攪乱前のデータと比較することで、風倒による攪乱が炭素交換量および蓄積量に与える影響を評価することができた。本研究は、攪乱後の森林生態系における炭素管理に対して有益な知見を提供できると考える。よって、審査員一同は佐野智人が博士(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。