

枯死木からの CO₂ 放出量の推定

—羊ヶ丘実験林風倒被害 3 年後での試算—

森林総合研究所北海道支所 阪田 匡司・宇都木 玄・相澤 州平
森林総合研究所 酒井 佳美・石塚 成宏

はじめに

森林は大気中の CO₂ の約 2 倍、陸域生態系の約半分もの多量の炭素を貯留していると考えられ、その多くは土壌炭素や木質バイオマスといった形で存在している(1)。森林の炭素プールは植物体の地上部と地下部、リター、土壌炭素、枯死木などの粗大有機物の 5 つに大きく分けられ(2)、なかでも枯死木は養分貯留の場としての機能も重要視されている。しかし、枯死木は他の炭素プールに比べて情報が非常に少なく、森林の炭素動態を明らかにするために枯死木の現存量およびフローの実態把握が求められている。

現在、我々は森林の長期 CO₂ フラックスモニタリングサイトの一つである札幌森林気象試験地(森林総合研究所北海道支所羊ヶ丘実験林内)において、森林炭素動態調査を 2000 年よりおこなっている。2004 年 9 月の台風 18 号によって本試験地は風倒被害に見舞われ、多量の倒木が発生、観測が一時中断した(3)。翌年 6 月より観測を再開し、風倒被害および植生回復に伴う森林炭素動態調査を継続しておこなっている。風倒被害による森林の炭素動態への影響は、上層木の減少に伴う CO₂ 吸収量の低下や多量の有機物が土壌に供給されることによる CO₂ 放出量の増加などが考えられる。風倒年前後のフラックス観測から風倒前に比べて風倒後の森林生態系 CO₂ 吸収量は低下していることが観測されているが、土壌呼吸による CO₂ 放出量はほとんど変化していなかった(4)。この原因として、CO₂ 吸収量自体の低下とともに土壌呼吸以外の CO₂ 放出の増加が考えられる。一般に土壌呼吸測定には枯死木など粗大有機物からの CO₂ 放出は含まれておらず、上述の土壌呼吸にもそれらは含まれていない。そのため、風倒被害により多量に発生した倒木からの CO₂ 放出が倒木前の非同化部呼吸を上回り、森林生態系 CO₂ 吸収量を低下させたのかもしれない。

本報告の目的は風倒被害により多量に発生した倒木からの CO₂ 放出量を推定し、それらが風倒被害前後の森林の炭素収支に与えた影響を評価し、今後の課題点を明らかにすることである。

調査方法

札幌市南東郊外にある森林総合研究所北海道支所羊ヶ丘実験林内で調査をおこなった。本試験地はシラカンバ、ミズナラ、ハリギリを中心に、シナノキやイタヤカエデ、林床にはクマイザサ、チシマザサを交えた落葉広葉樹天然性二次林(約 90 年生)である。植生については宇都木

らの報告が詳しい(5)。標高は約 180m で土壌型は火山放出物を母材とする適潤性黒色土および適潤性褐色森林土である。

2004 年に風倒被害によって生じて完全に枯死した倒木(ミズナラ(枯死)とシラカンバ(枯死))と斜めになっているが葉が着いて生残しているもの(シラカンバ(生残))の計 3 種を供試木として以下の手順で表面からの CO₂ 放出速度を測定した。シリコン充填剤を用いて供試木の表面に円筒チャンバ(内径 12cm, 高さ 8cm あるいは 12cm)を固定し(それぞれ 6 反復)、携帯用土壌呼吸測定装置(LI-COR, LI6400)を用いて、円筒チャンバ内の CO₂ 濃度上昇から倒木の CO₂ 放出速度を測定した。それらの測定は 2007 年 7 月 19 日から 10 月 31 日の日中におこない(計 5 回)、同時に気温および倒木温度(深さ約 3cm)も測定した。また、シラカンバの枯死木および生残木については観測終了後、チャンバ固定位置直下の材円盤を切断採取し、浮力法により容積密度を測定した。

一般線形回帰分析やその他の統計量の計算には JMP (SAS Institute Inc, Version6) を用いた。

結果

倒木からの CO₂ 放出速度は夏に上昇し秋に低下し、温度に強く依存する傾向を示した。また、ミズナラ(枯死)の CO₂ 放出速度(表面積あたり)が最も大きく、シラカンバ(枯死)、シラカンバ(生残)の順に小さかった。ただし、シラカンバ(生残)に比べて、ミズナラ(枯死)・シラカンバ(枯死)の反復間のバラツキが大きく、部位によって非常に大きく変動した。CO₂ 放出速度(各測定日の平均値)と気温との関係は指数関数式(式-1; $\ln(R_{WD}) = a + b \cdot T_a$, R_{WD} : CO₂ 放出速度(mgCO₂ m⁻² s⁻¹), T_a : 気温(°C), a , b : パラメータ)で有意に回帰された(図-1)。そこで、これらの関係式を用い、2006 年の気温データ(1 時間値)を代入することにより、ミズナラ(枯死)およびシラカンバ(枯死)の年間 CO₂ 放出量を推定した結果、それぞれ 1.0 (0.4~2.9), 1.5 (0.5~4.9) kgCO₂ m⁻² y⁻¹ となった(かつこ内は 95%信頼区間)。これらの値とシラカンバ、ミズナラおよびその他の樹種の表面積(それぞれ 3738, 5550, 1868m² ha⁻¹) (6)、観測タワー付近の倒木率 29.1% (未発表データ)を用いて林分面積あたりの倒木からの CO₂ 放出量を推定した結果、合計 1.1 (0.4~3.3) MgC ha⁻¹ y⁻¹ となった(その他の樹種についてはミズナラとシラカンバの CO₂ 放出速度の平均値から計算した)。また、風倒被害前の林分地上部非同化部現存量(188Mg ha⁻¹) (7) と倒

木率から推定した風倒木現存量 (55Mg ha⁻¹) を用いると風倒木重量あたりの CO₂ 放出速度は 19kgC Mg⁻¹y⁻¹ と推定され、さらに倒木の炭素含量を 50% と仮定すると分解係数は 0.04y⁻¹ であった。

シラカンバ(枯死)およびシラカンバ(生残)の CO₂ 放出速度 (全期間の平均値) と容積密度には双方とも負の相関が認められた (図-2)。そこで、CO₂ 放出速度の対数値を目的変数、気温・土壌水分・容積密度・生死を説明変数として一般線形モデルにより重回帰分析を行ったところ、容積密度、気温、生死別が説明変数として有意に採択され、生死と容積密度の交互作用も認められた (式-2; $\ln(R_{WD}) = -0.56 * D_{WD} + 0.36 * T_a - 0.34 * DL - 0.34 * (D_{WD} * DL)$, $R^2 = 0.581$, $p < 0.001$, D_{WD} : 容積密度(kg m⁻³), DL : 生死(生残 1, 枯死 0), 係数は標準偏回帰係数, 変数は全て標準化された変数)。

考 察

本調査地とほぼ同程度の年平均気温における落葉広葉樹林の枯死木の分解係数は 0.06 ± 0.02y⁻¹(9) と本結果 (0.04y⁻¹) とほぼ同程度であり、それほど妥当性を欠いた値でないと思われる。そこで、風倒前の地上部非同化部呼吸 (2.24MgC ha⁻¹y⁻¹(6)) と倒木率を用いて、風倒被害前後の地上部 CO₂ 放出量の比較をすると、風倒後の地上部非同化部呼吸は 1.6MgC ha⁻¹y⁻¹ と推定され、倒木からの CO₂ 放出量を合計すると 2.7 MgC ha⁻¹y⁻¹ となり、風倒後は風倒前より約 0.5 MgC ha⁻¹y⁻¹ 増加していたことが明らかになった。微気象学的ガスフラックス観測によって得られた風倒被害前後の森林生態系 CO₂ 収支は約 2.6 MgC ha⁻¹y⁻¹ の吸収(8)から約 1.5 MgC ha⁻¹y⁻¹ の放出 (北村, 私信) と約 4 MgC ha⁻¹y⁻¹ もの CO₂ 吸収量の低下が見られ、風倒木による CO₂ 放出量の増加以上にその他の CO₂ 放出源の増加や CO₂ 吸収量の減少が示され、風倒被害 3 年後において、上層木の減少に伴う CO₂ 固定量の低下が大きいことが示唆された。また、枯死木は分解が進むにつれて容積密度が低下し、分解率が上昇することが天然性北方林で報告されており(10)、本結果も同様の傾向を示すことから (式-2)、今後、枯死木の分解が進むにつれて倒

木からの CO₂ 放出速度がより大きくなることが予想される。そのため、森林生態系におよぼす風倒被害の長期的な影響を評価するためには、植生回復に伴う CO₂ 固定量の変化を定量的に把握するとともに、風倒木からの CO₂ 放出量の追跡調査を継続することが必要である。

引用文献

- (1) IPCC (2001) Climate Change 2001: The Scientific Basis. Cambridge University Press.
- (2) IPCC (2003) Good practice guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Institute for Global Environmental Strategies (IGES) for the IPCC.
- (3) 鷹尾元 (2005) 空から見た風倒害 2004 年台風 18 号が森林に残した爪痕を探し求める, 森林総合研究所北海道支所研究レポート. 83
- (4) 阪田匡司ほか (2008) 札幌市郊外落葉広葉樹林における土壌からの CO₂ 放出量の推定. 日林北支論 56: 91-93
- (5) 宇都木玄ほか (2007) 札幌市郊外の落葉広葉樹林における上層林冠木の 25 年間の動態. 日林北支論 55: 35-37
- (6) 宇都木玄ほか (2008) 札幌市郊外の落葉広葉樹林における地上部非同化部呼吸量の推定. 日林北支論 56: 47-49
- (7) 宇都木玄ほか (2004) 札幌市郊外の落葉広葉樹林における現存量に関する諸量の推定 (I). 日林北支論 52: 99-101
- (8) Nakai Y et al. (2003) Year-long carbon dioxide exchange above a broadleaf deciduous forest in Sapporo, Northern Japan. Tellus B 55: 305 - 312
- (9) Liu H et al. (2006) Woody debris contribution to the carbon budget of selectively logged and maturing mid-latitude forests. Oecologia 148: 108-117
- (10) Bond-Lamberty B et al. (2003) Annual carbon flux from woody debris for a boreal black spruce fire chronosequence. J Geophys Res 108: No.D23

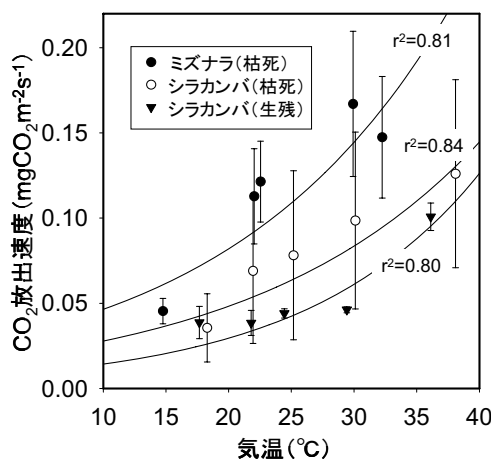


図-1 倒木からの CO₂ 放出速度と気温の関係
値は各測定日平均値, エラーバーは標準誤差(n=6)

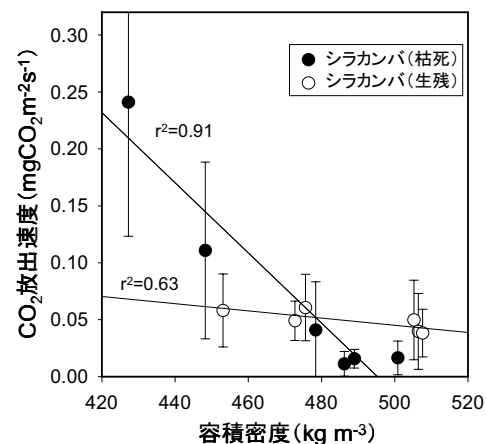


図-2 倒木からの CO₂ 放出速度と容積密度の関係
値はサンプル毎の全測定平均値, エラーバーは標準誤差(n=5)