

LIDAR データを用いた林冠攪乱強度と森林構造の関係

森林総合研究所北海道支所 宇都木 玄・高橋 正義・飛田 博順・上村 章
 北岡 哲・阪田 匡司・鷹尾 元
 北海道大学低温科学研究所 渡辺 力

はじめに

現在、約 300 カ所におよぶ世界各地の森林で大気-森林間の CO₂ フラックス(タワーフラックス)や炭素循環プロセスが観測されているが、多くは単一樹種・同齢個体で構成された安定した森林を対象としており、自然攪乱の前後でタワーフラックスと炭素循環プロセスを比較観測した例はない。一方、森林生態系の安定性における自然攪乱の重要性が 80 年代より世界各地で認識されてきており(7)、アジアモンスーン下にある日本では台風による自然攪乱がもっとも普遍的で重要である(6)。さらに、地球温暖化にともない、相対的に強い熱帯低気圧が増える事が予想されており(2)、森林生態系の CO₂ 収支を評価するうえで台風攪乱の影響は無視できないものとなっている。

これまで、森林生態系の CO₂ 収支に及ぼす攪乱の影響は、人為攪乱については、森林と皆伐地のタワーフラックスの比較(5)、皆伐更新地における生態系フラックスの観測(8)などが着手されているが、伐採木を持ち出すなど自然攪乱と条件が全く異なっている。一方、自然攪乱については、攪乱後の遷移段階の異なる林分の CO₂ 収支の比較(3,4)がなされている程度で、攪乱直後から森林の回復に至る過程で、個別の炭素循環プロセスやその総和としてのタワーフラックスが実際にどのように変化するかは未解明のままである。

筆者らは、札幌市羊ヶ丘の落葉広葉樹林で、2001 年より樹木-土壌系の炭素循環プロセスを明らかにしてきた(1,11)。しかし、2004 年 9 月の 18 号台風で、森林は大きな風倒被害を受けた。その後の森林の炭素循環プロセスを明らかにする際、不均一になった森林をどのように取り扱えばよいか、大きな問題である。幸いにして台風被害前後で LIDAR を用いた森林観測が行われた(9)。この LIDAR 測量による、台風被害に起因する森林攪乱強度に関する指標が、実際に生じた森林構造の変化をどの程度反映するのであろうか？本論ではこの点に焦点を絞り検証する。

調査地と方法

調査地である森林総合研究所北海道支所実験林

(N42°59' E141°23')はシラカンバとミズナラを主要構成木とし、1912 年に生じた山火再生林である(13)。本実験林は 2004 年 9 月の台風 18 号により局所的に大きな被害を受けた(図-1 左)。2003 年 9 月 2 日及び 11 月 8 日に LIDAR データを取得し、地表高と林冠高の分布を得た。台風後の 2004 年 10 月 1 日に LIDAR データを取得し、林冠高を得た。LIDAR とは航空機から地表面にレーザーパルスを照射し、反射点の三次元座標を測定する手法である。本研究では、LIDAR データによって、台風以前に存在した反射点の高さが、台風以降 70%以上低くなった場合を攪乱点と評価した。攪乱点の判断は 1m メッシュ内でおこない、20m メッシュ(400 ポイント)に占める攪乱点の百分率を、20m メッシュ内の攪乱強度(%), また[100-攪乱強度]を攪乱後残存率(%)とした。

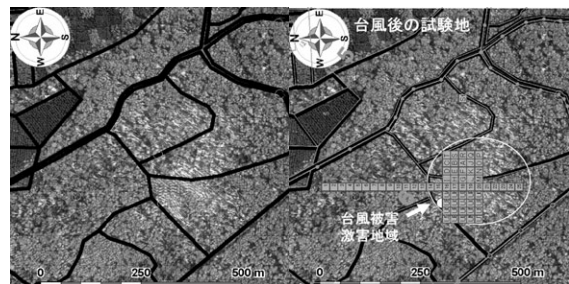


図-1 台風攪乱直後の実験林と設定試験地
 右図の一區画が 20m メッシュにあたる

実験林内に LIDAR による 20m メッシュと同一座標となるように、65 個の 20m×20m の毎木調査プロット(Tp プロット、2.6ha)を設置した(図-1 右)。2004 年及び 2005 年の前半は危険なため、調査は 2005 年の秋から開始した。プロット内にある立木(DBH3cm 以上)、台風で倒壊したと考えられる樹木、及び台風以前に自然枯死していたと考えられる樹木の胸高直径と樹高を測定した。樹木バイオマスの推定は 2003 年に作成されたアロメトリー関係式を用い(10)、アロメトリー関係は台風攪乱後も変化しないと仮定した。根量は幹重量の 31.7%(12)とした。純生産量(NPP)は期間中の生存個体の現存量(幹枝根)増加量、期間中の枯死個体量(幹

Hajime UTSUGI, Masayoshi TAKAHASHI, Hiroyuki TOBITA, Akira UEMURA, Satoshi KITAOKA, Tadashi SAKATA, Gen TAKAO, (Hokkaido Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute, Sapporo 005-8601), Tsutomu WATANABE (Graduate School of Environmental Science Hokkaido University). The quantitative estimate of stem and branch respiration in boreal deciduous forest of Northern Japan.

枝根)及び期間中の葉量とし、根系の枯死脱落量、被食量及び溶脱量は無視した。

2007年の秋、林内10箇所に気象ステーション(HOBO Weather Station onset computer USA)を設置し、地上高約2.5m(ササ群落直上)の光合成有効放射束密度(PPFD)、気温(度)、湿度(%),地温(15cm, 40cm;度),土壤含水率(15cm, 40cm; m^3m^{-3})を30分間隔で測定した。気象ステーションの設置場所は攪乱強度の強弱を参考に、幅広い攪乱強度を含むように決定した。また40mのタワー上で5分間隔のPPFDを測定した。尚、本文では平均値は \pm SE(標準誤差)を併記した。

結果と考察

実験林全体において、台風後の攪乱強度は $7.4\pm 0.2\%$ であった。一方2.6haのTpプロットにおける攪乱強度は $32.5\pm 3.2\%$ と強度な場所であり、最激害区画は90%とほぼ全壊に近い。Tpプロットにおいて、台風以前は $233.5\pm 10.7Mg\text{ha}^{-1}$ 存在した[幹+枝+根]の現存量は、台風後に $168.5\pm 11.5Mg$ に減少し、調査区画内に $65\pm 8Mg\text{ha}^{-1}$

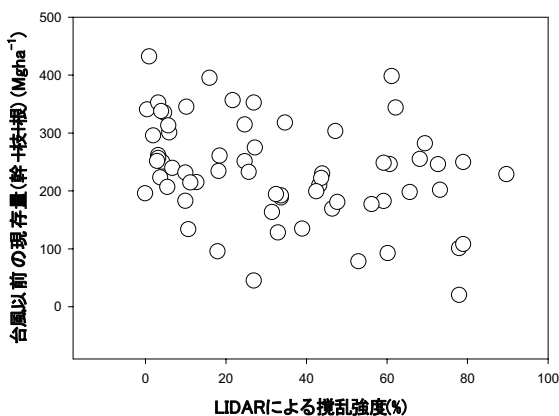


図-2 LIDARによる攪乱強度と台風攪乱前の現存量[幹+枝+根]の関係

の枯損が生じたと考えられる。2005-2007年の平均NPPは $4.5\pm 0.3Mg\text{Cha}^{-1}\text{y}^{-1}$ であり、被害が甚大な場所にしては大きなNPPを維持していると考えられる。攪乱後残存率が90%以上である区画の平均NPPは $6.5\pm 0.5Mg\text{Cha}^{-1}\text{y}^{-1}$ であり、宇都木(12)の長期観測プロットと同様な値であった。

攪乱強度と台風攪乱以前の現存量の関係を図-2に示した。攪乱以前の現存量は大きくばらつき、攪乱強度はその場所の現存量と相関が無い事がわかる。一方攪乱後残存率と攪乱後2005年の現存量の間に強い正の比例関係が認められた(図-3)。このことからLIDARデータを用い、本実験林の攪乱後に残存する樹木の現存量を推定することが可能であると考えられた。

LIDARによる攪乱強度と台風による倒壊樹木量の関係は、有意な弱い比例関係を示した($r^2=0.43$)。これは倒壊以

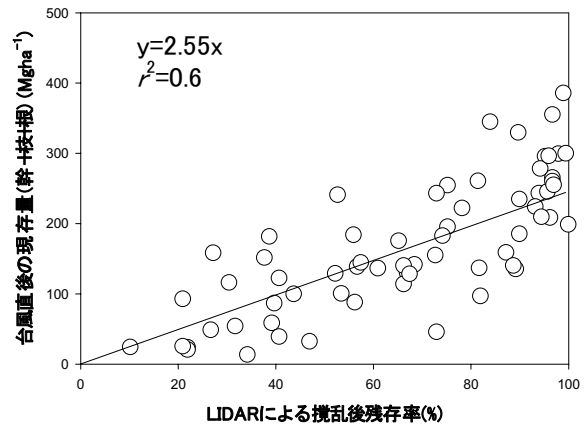


図-3 LIDARによる攪乱後残存率と攪乱直後の2005年現存量の関係。切片は有意でなく($p > 0.03$)、攪乱後残存率と攪乱後の現存量に比例関係が認められた。

前の現存量のばらつきの影響を受けていると考えられた。

攪乱後の残存木現存量と攪乱後残存率に比例関係が認められたため、攪乱後2年間の平均NPPも攪乱後残存率と強い相関関係にあることが期待された。しかし攪乱後の現存量とNPPの間に強い相関関係が認められなかった事も一因となり、NPPと攪乱後残存率の比例関係は現存量の場合と比べて弱くなった(図-4)。このことは同じような攪乱後残存率であったとしても、残存木の樹種構成や配置によって、その後の成長量が異なる事を示唆する。

次に攪乱強度と林床(ササ群落上)の環境条件を見る。曇天日における散乱光レベルでの相対光強度(9:00-15:00の平均値)、快晴日における平均PPFD(6:00-18:00)を光の指標としたが、両者とも攪乱強度と強い正の相関関係を示した(図-5)。同様に光環境条件ほどではないが、気温と湿度も攪乱強度と相関関係を示した(図-6)。一方地中15cmの地温及び土壤含水率と被害率に有意な相関関係は無く(図-7)、これは地中40cmでの地温と土壤含水率においても同様であった。このことは攪乱後に急速に現存量を増加さ

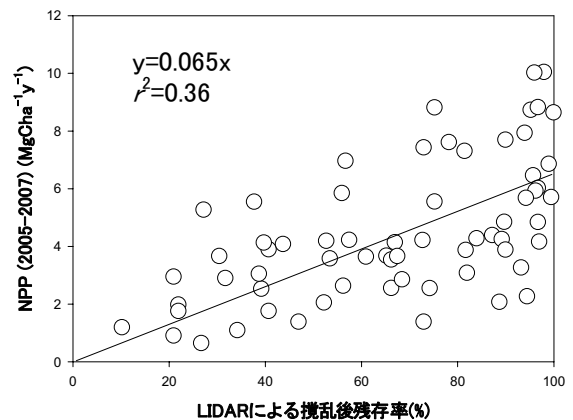


図-4 LIDARによる攪乱後残存率と2005-2007年の平均NPPの関係。切片は有意でなく($p > 0.02$)、攪乱後残存率と攪乱後のNPPに弱い比例関係が認められた。

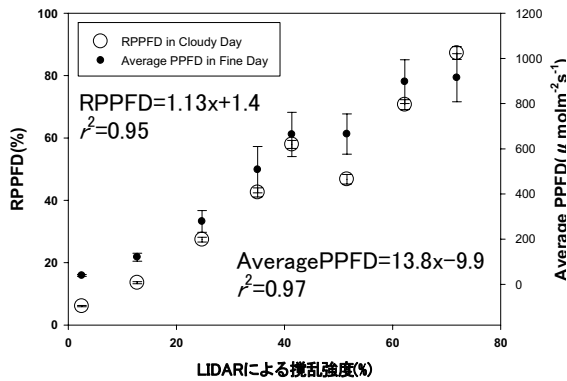


図-5 曇天日の散乱光レベルの相対光強度(RPPFD)及び快晴日の6:00から18:00までの平均PPFDとLIDARによる被害率の関係。

せたササ群落によって地表面が覆われ、ササ群落より上部の情報では地表面以下の環境条件を推定できないことを示唆する。

以上の事から LIDAR データから取得した攪乱強度に関する指標は、特に攪乱後の森林の現存量と光・温湿度条件を強く反映することがわかった。環境条件と正確に対応したことから、攪乱後大幅に増大するササ群落の炭素収支を広域で評価できる可能性が高い。また攪乱後の現存量と NPP 等生産量の関係がプロセススペースで明らかになれば、台風攪乱後の広域に渡る炭素収支を評価できると考えられる。

引用文献

(1) Ishizuka S. et al. (2006) High potential for increase in CO2 flux from forest soil surface due to global warming in cooler areas of Japan. *Annals of Forest Science* **63**: 537-546.
 (2) 小池勲夫(編) 2006「地球温暖化はどこまで解明されたか」丸善, 277pp
 (3) Low B.E. et al. (2001) Carbon storage and fluxes in

ponderosa pine forests at different developmental stages. *Global Change Biology* **7**:755-777.
 (4) Low B.E. et al. (2004) Disturbance and climate effects on carbon stocks and fluxes across Western Oregon USA. *Global Change Biology* **10**:1429-1444.
 (5) Machimura T. et al. (2005) Change of carbon dioxide budget during three years after deforestation in eastern Siberian larch forest. *Journal of Agricultural Meteorology* **60**:653-656.
 (6) 中静透・山本進 (1987) 自然攪乱と森林群集の安定性. *日本生態学会誌* **37**: 19-30
 (7) Pickett, S. T. A. and White, P. S. (1985) *The ecology of natural disturbance and patch dynamics*. New York, NY: Academic Press.
 (8) Pypker T.G. and Fredeen A.L. (2002) Ecosystem CO2 flux over two growing seasons for a sub-Boreal clearcut 5 and 6 years after harvest. *Agr. For. Met.* **114**:15-30.
 (9) 鷹尾元他 (2005) LIDAR による落葉広葉樹の風倒外の評価 写真測量とリモートセンシング **44**:18-21
 (10) 宇都木玄他 (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.
 (11) Utsugi et al. (2005) Spatial and Seasonal Variations in Leaf Mass per Area and Their Relationship to Leaf Nitrogen in a Secondary Northern Hardwood Forest in Japan. *Phyton* **45**:245-251
 (12) 宇都木玄他 (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.

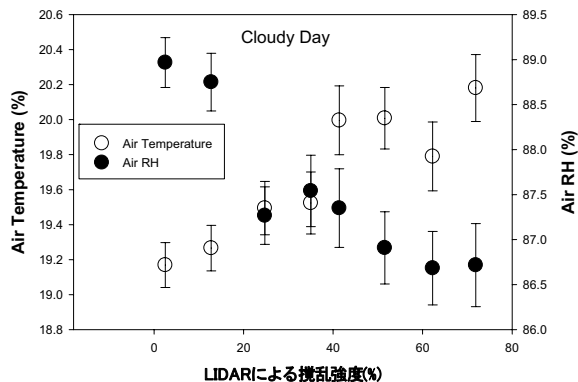


図-6 曇天日の気温(Temperature)及び湿度(RH)の9:00から15:00までの平均値とLIDARによる被害率の関係。

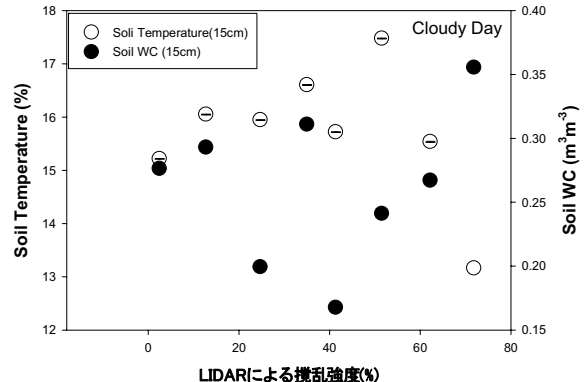


図-7 曇天日の地中15cmの地温(Soil Temperature)及び土壌含水率(Soil WC)の9:00から15:00までの平均値とLIDARによる被害率の関係。