

札幌市郊外落葉広葉樹林における倒木分解量の推定 — 2004年台風18号による風倒後、4年間について —

森林総合研究所北海道支所 宇都木玄・阪田匡司・北岡哲・飛田博順・上村章

はじめに

森林生態系の炭素循環において、地表面からの炭素放出量は大きな割合を占める。一方、林内枯死木の分解速度は一般的に遅く、炭素貯留機能を果たすと考えられている(2)。しかし枯死木の分解速度に関するデータは非常に少なく(6)、また攪乱により大量の倒木が発生した場合、それらは長期間炭素貯留機能を果たすのであろうか？

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(3,8)。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。その後もフラックス観測タワーを用いて森林の炭素循環をモニタリングしているが、森林生態系純生産量(NEP)は、風倒以前のプラス値からマイナス値に変化している。これは1)森林の総光合成生産量が減少した結果、2)森林生態系の呼吸量(分解量含む)が増加した結果、と言う2つの原因が考えられる。本研究では、台風による風倒後、約5年間の風倒被害木の分解量を推定し、それらを生木の呼吸量と比較する。また林分としてどれほどの分解量になるのか、LIDAR データを用いた攪乱強度のGIS情報(9)を応用して検討する。

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た1912年に生じた山火再生林である(7)。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(9)。被害地を中心に含める様に20m×20m(0.04ha)のプロットを25箇所連続させた長さ500m(1ha:ECプロット)のベルトランセクトを設置し、その長辺に沿って往復合計1kmのラインを設置した(図-1)。なおECプロットでは毎木調査がおこなわれており、風倒直後の被害木量はアロメトリー関係から $50 \pm 9.5 \text{ Mgha}^{-1}$ と推定された。2007年及び2008年に被害木量の多いシラカンバ、ミズナラの幹・枝容積密度(VD; Mgm^{-3})とピロディン(Proceq製, Pilodyn Forest6J)の貫入量(X;mm)の相関関係の調査をおこなった。なおピロディ

ンの貫入量と容積密度は、スギ材において良好な関係が得られている(10)。本研究では以下の近似式を得ることができた(図-2)。

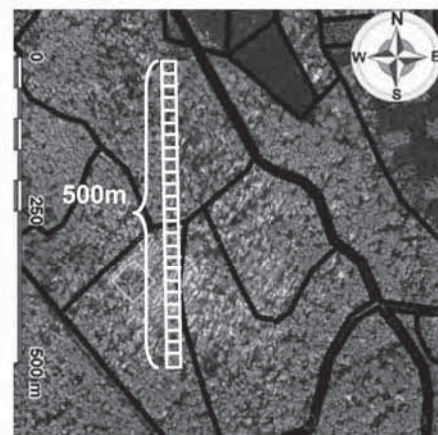


図-1 20m×20m(0.04ha)プロットを25箇所連続させた、片側長さ500m(1ha)のベルトランセクト長辺をラインとし、左右のライン上に横たわる風倒被害木を調査した。(3)式によって各20m×20m内の風倒被害木量($W: \text{Mgha}^{-1}$)を計算した

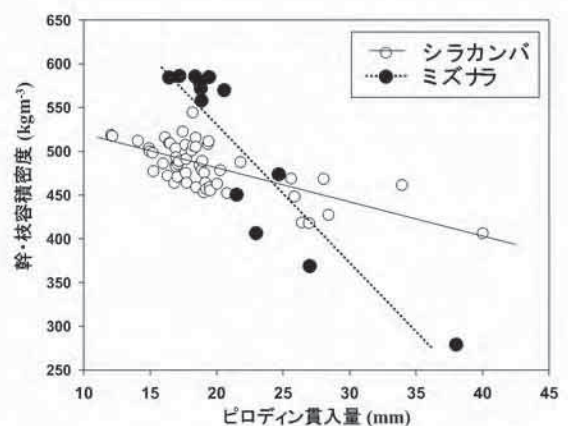


図-2 ピロディンの貫入量と、幹・枝容積密度の関係

図中の回帰式は本文中に記載

Hajime UTSUGI, Tadashi SAKATA, Satoshi KITAOKA, Hiroyuki TOBITA, Akira UEMURA (Hokkaido Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute, Sapporo 005-8601) The quantitative estimate of stem and branch decomposition in boreal deciduous forest of Northern Japan – 4 years period after 18th Typhoon in 2004 –

$$\text{シラカンバVD} = -3.9517X + 558.13 \quad (r^2 = 0.48 \quad n = 54) \quad (1)$$

$$\text{ミズナラ} \quad \text{VD} = -16.398X + 863.72 \quad (r^2 = 0.85 \quad n = 13) \quad (2)$$

2009年8月に、往復1kmライン上に横たわる直径5cm以上の被害木の幹・枝について、直径とピロディンによる貫入量測定をおこなった。ここで1kmライン上に計測された被害木総数は210本であった。ピロディンは1本のサンプルに付き6-10回の貫入試験をおこない、その平均値を集計した。ピロディンの貫入量で最大値を超えてしまう(柔らかい)場合、もしくはシラカンバ・ミズナラ以外の樹種の場合、円盤状のサンプルを採集し、実験室で容積と乾燥重量を測定した。容積は円盤周囲長と、4方向の円盤の厚みを平均して求めた(サイズ法)。事前に水中法による容積密度(10)と、サイズ法による容積密度を比較したが、大きな差異は認められなかった。

ライン上に横たわる被害木直径(dn; cm)、及び単位ラインの長さ(L)から、各20m×20mプロット内の風倒木の乾燥重量(W; Mgha⁻¹)を次の様に求めた(Line Transect Method, 11)。

$$W = \pi^2 \times (d_1^2 \times \text{VD}_1 + d_2^2 \times \text{VD}_2 + \dots + d_n^2 \times \text{VD}_n) / (8 \times L \times 2) \quad (3)$$

ここでd₁…d_nは各20m×20mプロットの左右ライン上に横たわる倒木の直径(cm)、VD₁…VD_nは各樹種の容積密度である。各20m×20mプロットにおいて、左右のライン計測(往復)をおこなったため、L=20×2=40m(各プロット踏査距離)となる。

生木状態でのVDは、シラカンバ及びミズナラについて実測を用い、またその他の樹種については文献を用い(4)。

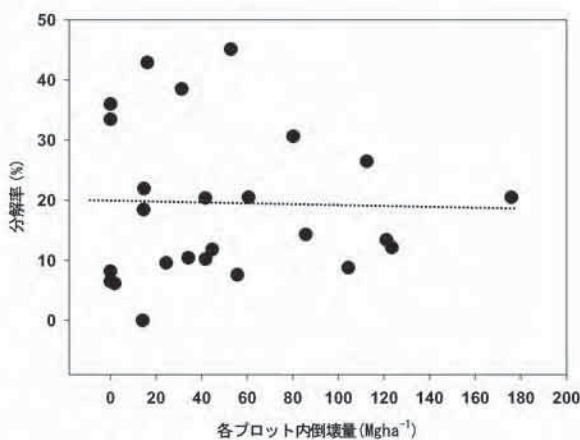


図-3 風倒直後の、各プロット(0.25ha)内倒壊量と分解率の関係

分解率は倒壊量に対して相関関係を示さない($r^2 = 0.001$, $p > 0.05$)

以下の様に仮定した。シラカンバ:0.544, ミズナラ 0.592, ハリギリ 0.398, ドロノキ 0.291, ハンノキ 0.382, シナノキ 0.369 である。

風倒直後の被害木現存量 W_1 は生木状態のVDを用いて求め、2009年調査時の風倒被害木現存量 W_2 は調査時点でのVDを用いた。2004年の台風は9月に来襲したため、2009年8月調査までの分解期間を5年間と定義した。従って、 W_1 と W_2 の差分を5で割った値を年間平均被害木分解量(Mgha⁻¹y⁻¹)とした。各20m×20mプロットにおいて、台風直後の風倒被害木現存量に対する5年間の分解量の百分率を分解率とし、また分解定数(k; y⁻¹)(5)も5年間平均として計算した。なお炭素量(MgC)は、現存量(乾燥重量)の50%として計算した。またLIDARによる立木の攪乱強度は、台風前後のLIDAR撮影の差分を用い、樹冠が70%以上沈降した割合から算出した(9)。

結果と考察

ECプロットのラインセンサ及び(3)式から求められた風倒被害木量は 45.7±10.5Mgha⁻¹と推定され、前述の毎木調査から得られた被害木量と有意差は無かった。このことは被害木量及び分解量の推定に、ラインセンサによる手法[(3)式]が利用可能であることを意味する。各20m×20mプロット内の分解率は被害木量と相関関係を示さず($r^2 = 0.001$, $p > 0.05$, 図-3)、5年間の分解率のプロット間平均値は 18.95±2.5%、分解定数(k)は 0.0445±0.007であった。このkの値は、同実験林で広葉樹の丸太を使って推定した値(5)より小さい。これは広葉樹の丸太試験で単材を用いており、腐朽が台風による大型個体の枯死木よりも速やかに進むことが一因と考えられる。一方、世界中の気候帯を通じた平均温度とkの関係解析(平均温度7.1度でk=0.02922)の報告(1)は、今回の試験のkの値と近かった(図-4 この差はフ

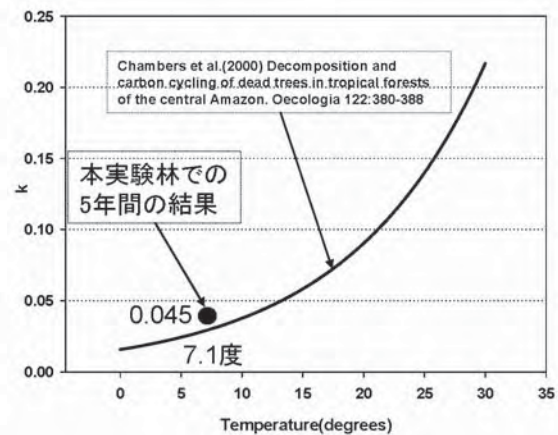


図-4 Chambers et al. (2000)による世界中の気候帯を通じた平均温度と分解定数 k の関係(曲線)、及び本研究における分解定数 k

7.1度は本実験林の平均気温である

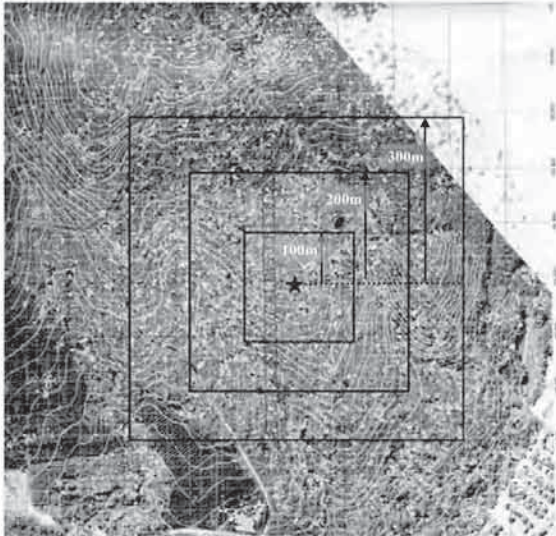


図-5 フラックスタワー(★)を中心とした片側 100m の方形区 (P100), 200m(P200) の方形区, 300m(P300)の方形区
薄白くまだらに見える部分が風倒被害地である

ルレンジに対して 7%以下であった)。

本実験林が風倒被害を受ける以前、幹・枝の合計呼吸速度は $2.24 \pm 0.05 \text{ MgCha}^{-1}\text{y}^{-1}$ と推定され、その時の幹・枝現存量は 188.3 Mgha^{-1} であった(8)。この幹・枝が全て風倒にあった場合を想定すると、風倒後の年間平均被害木分解量は $3.57 \text{ MgCha}^{-1}\text{y}^{-1}$ と試算され、幹・枝の呼吸量よりも 59% 大きくなると推定される。このように台風で風害を受けて枯死した樹木は、風倒後 5 年間、生残した場合よりも多くの炭素を分解呼吸により放出することが明らかである。

本実験林で台風による風倒被害は一様に生じておらず、フラックス観測タワーを中心とし、タワーより距離が離れるほど被害が減少している(図-5)。そこで LIDAR による攪乱強度に関する情報から、本研究林の倒木分解量及び幹・枝

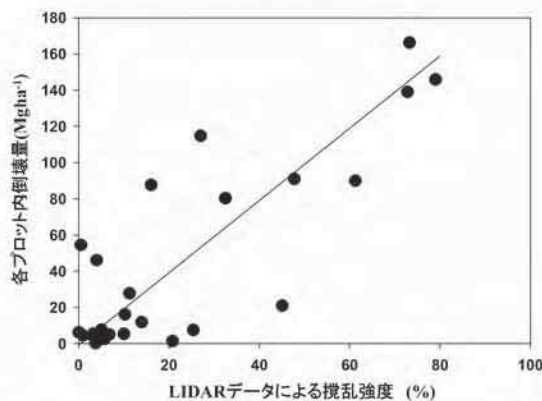


図-6 風倒直後の、各プロット(0.25ha)内の LIDAR データによる攪乱強度とプロット内倒壊量の関係
被害率と倒壊量は比例関係にある($r^2=0.68$)

の呼吸量の推定を試みる。ここで 5 年間の倒木分解に伴う炭素は、全て大気中に還元されたと仮定した。LIDAR による攪乱強度とラインセンスによる台風後の被害木量の間には強い比例関係が認められた(図-6 $r^2=0.68 \ p < 0.01$)。そこでフラックス観測タワーを中心とし、片側 100m の方形区 (P100), 200m(P200) の方形区, 300m(P300) の方形区を仮定し(図-5), その中の平均攪乱強度から被害木量を計算した。P100 では現存量ベースで 27.5%, P200 では 22.3%, P300 では 16.2% の被害率であった。被害率に風倒以前の幹・枝呼吸速度($2.24 \text{ MgCha}^{-1}\text{y}^{-1}$) を乗じた値を、攪乱による呼吸量減少分とした。また被害木量に年間の分解率を乗じた値を風倒被害木から発生した炭素量とした。この計算から P100 では風倒以前の幹・枝呼吸による炭素放出量に対して風倒後は 16.3% 増加し、同様に P200, P300 ではそれぞれ 13.3%, 9.6% 増加すると試算された。

現在、台風前後で森林群落総光合成生産量(GPP)は大きく変わらないことが、タワーフラックス観測からわかってきている。また本実験林ではササ群落が攪乱地跡に急速に繁茂していることから、GPP はササによってほとんど補完されていると考えている。これらのことを鑑みて、仮にササ群落の呼吸速度が、そこに台風以前成立していた樹木の幹・枝呼吸量を補償すると考えた場合、台風後の炭素放出量は台風以前の炭素放出量(呼吸量)の 1.439 倍(P100), 1.356 倍(P200), 1.258 倍(P300)になると推定された。従って台風攪乱後の NEP の減少は、風倒被害木の分解呼吸量の増加によってもたらされる可能性が高いと考えられる。

台風による風倒被害が、被害後 5 年以内に森林生態系から大気への炭素放出量増大をもたらすことが示唆され、その一要因として風倒被害木の分解呼吸の影響が明らかとなった。5 年間のシラカンバ、ミズナラ、ハリギリといった多くの広葉樹樹種を含んだ平均値として、被害木量分解の速度は Chambers et al.(1)の述べた温度と分解率の関係と一致した。従って大規模な攪乱が生じた場合、その林内の倒木量と経過時間から攪乱による炭素放出量の試算が可能であると考えられた。

引用文献

- (1) Chambers J.Q. et al. (2000) Decomposition and carbon cycling of dead trees in tropical forest of the central Amazon. *Oecologia* 122:380-388.
- (2) Harmon M.E. et al. (1986) Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems. *Advance in Ecological Research* 15:133-302.
- (3) 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.
- (4) 日本国 (2008) 京都議定書 3 条 3 及び 4 の下での

LULUCF 活動の補足情報に関する報告書,
(http://www.env.go.jp/earth/ondanka/mechanism/hosoku/KP-NIR_J-2009.pdf)

(5) 酒井佳美他 (2003) 北海道主要樹種における材の初期分解速度. 日林北支論 51:64-66.

(6) 酒井佳美他 (2008) 材密度変化による主要な針葉樹人工林における枯死木の分解速度推定. 森林立地 50:153-165.

(7) 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.

(8) 宇都木玄他 (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.

(9) 宇都木玄他 (2009) LIDAR データを用いた林冠攪乱強度と森林構造の関係. 日林北支論 57:69-71.

(10) Van Wangner C.E. (1968) The line intersect method in forest fuel sampling. For. Sci. 14:20-26.

(11) 山下香奈他 (2007) ピロデインを用いた容積密度推定法とスギ生材丸太のクラス分けへの応用. 木材学会誌 53:72-81.