

大規模風倒跡地における風倒木残置と伝統的施業が 森林更新初期 3 年間の遷移に与える影響

北海道大学大学院農学院 森本未星・森谷佳晃・森本淳子・中村太士

はじめに

これまで、世界では大規模自然撓乱の後に salvage logging が木材生産のために行われてきた。Salvage logging は撓乱後の材の救出、火災・病虫害の発生の防止のために行われてきた(2)。同時に、地拵え、植栽、下刈りという一連の施業が、生産林の育成のために広く行われてきた。しかし、近年森林施業の目的が木材生産を主としたものから原生林の保全や生物多様性の保全などへと多様化しつつあり、これらの目的に適した施業を検討する必要がある。

大規模自然撓乱は様々な biological Legacy を残す。Biological Legacy には coarse woody debris(以下 CWD)、前生樹、マウンド・ピットなどが含まれており、これらが森林の微地形を多様化し、生物のハビタットを提供し、森林の生物多様性を高めると言われている(3)。一方で、salvage logging はこれらの biological legacy を取り除き、森林の生物多様性保全へ負の影響を与えることが明らかにされつつある。また、これまでの木材生産を目的とした施業は針葉樹の単一樹種のみを利用することが多く、多様度の低い森林が造られてきた。

風倒撓乱後の salvage logging と風倒木残置をした場合の初期の植生回復についての研究は台風が多いアジア地域では行われていない。さらに salvage logging の影響を調べた研究は欧米で行われているが(9, 12, 13)、地拵え、植栽、下刈りという一連の施業を行った場合の植生回復についての研究は行われていない。また、植生に大きな変化があると考えられる初期に長期的に植生遷移をモニタリングした研究はほとんどない(1, 8, 10)。

本研究では大規模風倒跡地において、salvage logging、地拵え、植栽、下刈りの一連の施業を行った場合と風倒木を残置した場合の初期 3 年間の遷移の違いを明らかにすることを目的とした。

調査地

2004 年 9 月台風 18 号は日本の北に位置する北海道の森林の 36956 ha を倒壊させた。中でも、本調査地の位置する千歳市は非常に倒壊面積が大きく、千歳市に隣接した苫小牧市と合わせて、全道倒壊面積の約 3 割が集中している (5)。調査は千歳市内にある国有林

内の 47ha の林班の一部 (42°45'N, 141°30'E) で行った。本調査地の標高は 150 m、年平均気温 7.4 °C、年降水量 1088.5 mm(7)である。本調査地では、1957 年にトドマツ(*Abies sachalinensis* Fr. Schm. Masters)が植栽されたが、この台風ではほぼ全壊した。2007 年、風倒木を収穫・除去し、地拵えを行った。地拵えでは、4 m 巾の植栽予定列を走行しながら、woody debris を植栽予定列、の横に積み上げ、植栽予定列を平らに整地する作業を行った。woody debris のなくなった植栽予定列には、ミズナラ(*Quercus crispula* Blume)を植栽した。従来の施業では、針葉樹を植栽してきたが、当国有林では元あった広葉樹林へと戻すことを目的として、優占種であったミズナラを植栽した。一方、植栽予定地にあった fine woody debris を寄せ集めた列(約 2 m)には、重機は走行していない。地拵え時に表面の土壌が約 10 cm 取り除かれ、樽前山噴火時の火山灰と軽石が裸出した。本調査地の北側(50 m×70 m)一部区域には、風倒木をそのまま残置した。

方法

2008 年 4 月、施業方法の違いによる植生回復の違いを明らかにする為に、4 種類の違う処理区を設けた(図 1, A~D 区)。A は北側の salvage logging を行っていない場所に 16 コドラート、B, C, D は南側の salvage logging した場所に各 24 コドラート設置した。

A 区:風倒木を残置した処理区, B 区: salvage logging, 地拵え, ミズナラ植栽した処理区, C 区: B 区同様の施業後、翌年 2008 年 7 月、2009 年、2010 年 7 月に除草を行った処理区, D 区: 2007 年に主な風倒木を除去した後に残った根株や枝を寄せ集めて積上げた処理区の 4 つである。B, C は地拵え時に重機が走行した部分、D は地拵え時に植栽予定地のわきにあり、woody debris が積み上げられた部分である。

環境要因は 2008 年から 2010 年の各年の 8 月に土壌含水率、土壌硬度、相対光量子量、地表被覆物の被覆量、CWD の最高・最低高度と本数の測定を行った。地表被覆物としてはリター+土、礫、枝、幹、切株、根返りマウンドの被覆度を測定した。植生調査は、2008 年から 2010 年の各年の夏期と秋期 2 回、全プロットで実施した。調査項目は、各コドラートの群落高、構成

種である。

トドマツ、アオダモ、バッコヤナギ、コシアブラ、ミヤマザクラの主要高木種は前生樹・新規個体を区別した。トドマツ実生個体は2008年に年枝を数え、風倒が発生する前にあたる4年以上の個体を前生稚樹とみなし、各処理区における前生稚樹の本数の平均値を算出した。他の4種に関しては、2009年に樹高の測定を行った。調査地付近で4種の稚樹を10個体ずつサンプリングし、高さと同輪数の測定を行った。これらのデータから樹高から樹齢を推定する式を導き、その推定式からコードラート内の稚樹の樹齢を推定した。4年生より古い稚樹を前生樹とした。

群落高、在来・外来種数の3年間の変化が処理区ごとに違いがあるかどうかを検討するため、二元配置分散分析を行った。有意差があると認められた要因に関しては、どの処理区間に差があるのかを特定するため、Bonferroniの不等式による有意水準の補正を行った後、Tukey検定を用いて多重比較を行った。これらの検定にはRを用いた。外来種の判定にはNaturalized Plants of Japan(4)を用いた。

種組成の経年変化を明らかにする為、2008年から2010年の在・不在のデータを用いて、DCA(Detrended Correspondence Analysis)を用いて序列化を行った。解析を行う際に、各年の夏と秋の出現種をまとめ、出現頻度が3コードラート以下の種に関しては解析から除外した。次に、DCAで得られた第一軸の値とarcsin変換をした各環境変量の間でPearsonの相関分析を行った。第一軸の値と高い相関($r > 0.5$, $-0.5 > r$)のある環境変量と種組成のデータを用いてCCA(Canonical Correspondence Analysis)による直接傾度分析を行った。DCAとCCAにはPC-ORDを使用し、相関分析にはSPSS(14.0J)を用いた。

結果

群落高は時間、処理、時間×処理(交互作用)で有意差が見られた(図-1, 時間 $F=77.7639$, $p < 0.01$, 処理 $F=170.3522$, $p < 0.01$, 交互作用 $F=6.7529$, $p < 0.01$)。A, D, B, Cの順で高かった。A, Dでは2008年から2009年に群落高が増加し、Bでは2008年から2010年にかけて増加した。Cでは増加がみられなかった。

在来種数は時間、処理、時間×処理(交互作用)で有意差が見られた(図-2, 時間 $F=104.4385$, $p < 0.01$, 処理 $F=41.9022$, $p < 0.01$, 交互作用 $F=2.9501$, $p < 0.01$)。在来種数はB, Cで高く、ついでD, Aでもっとも低かった。B, C, Dでは2008年から2009年に種数が増加したが、Aでは種数に変化がみられなかった。

プロットあたりの外来種出現種数は時間、処理、時間×処理(交互作用)で有意差が見られた(図-3, 時間 $F=26.8169$, $p < 0.01$, 処理 $F=126.6301$, $p < 0.01$, 交互作用 $F=5.3295$, $p < 0.01$)。プロットあたりの外来種の出現種数は、BCで多かった。AとDにおける外来種出現種数は、4処理区の中で最も少なかった。また、B, Cでは2008年から2010年にかけて外来種数が増加した。

調査地周辺から採取した稚樹のデータ解析の結果、アオダモ ($Y = 2.05 \text{ Log } X + 6.47$; $X = \text{Height}$, $Y = \text{Age}$; R^2

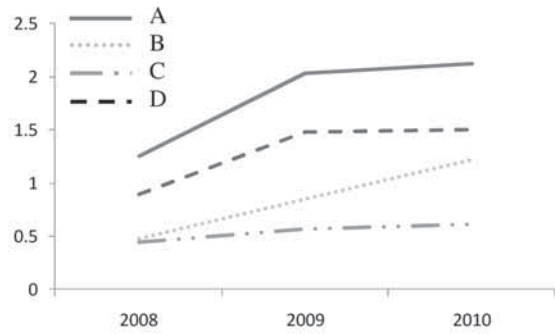


図-1 群落高の推移

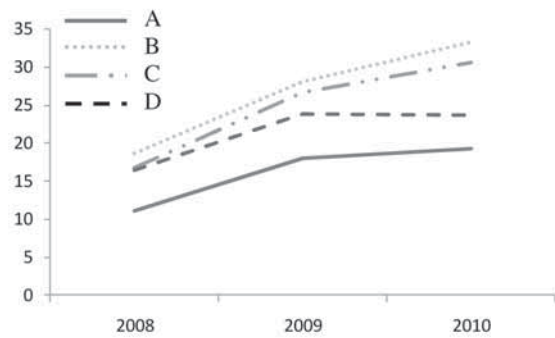


図-2 在来種数の推移

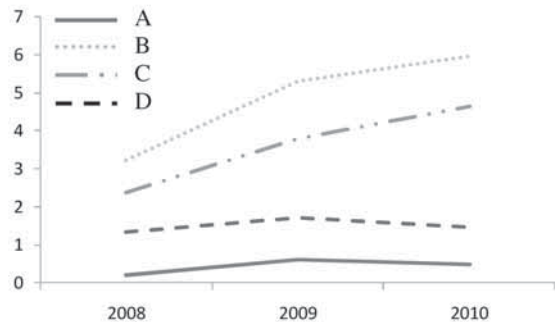


図-3 外来種数の推移

= 0.80), バッコヤナギ ($Y = 1.45 \text{ Log } X + 5.55$; $R^2 = 0.89$), コシアブラ ($Y = 1.53 \text{ Log } X + 5.86$; $R^2 = 0.81$), ミヤマザクラ ($Y = 1.61 \text{ Log } X + 6.27$; $R^2 = 0.68$)は、いずれも、樹高から樹齢を近似する推定式を導くことができた。これより、アオダモは樹高 0.30 m 以上、バッコヤナギは樹高 0.34 m 以上、コシアブラは樹高 0.30 m 以上、ミヤマザクラは樹高 0.24 m 以上を前生樹(調査時で4年生より古い個体)とみなすこととした。トドマツは年枝を数え、4年生よりも古いものを前生樹とみなした。地拵えをしたB, Cでは、これら主要な木本種の前生樹は出現しなかった。処理区Aの主要な木本種の前生樹の植被率は、処理区Dにおけるそれよりも大きかった(図-4, $p < 0.01$)。

2008年から2010年の風倒区の各処理区の種組成を用いたDCAの結果、第一軸～第三軸が抽出され、種組成データセットの変異の40.3%を説明できた。AからDの処理区は風倒木を残置したA区、根株や枝の残

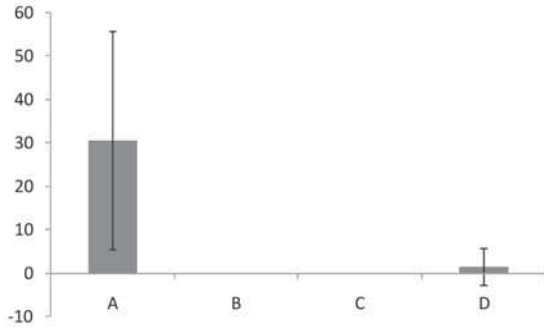


図-4 前生樹植被率の平均値(バーはSDを示す)

渣を寄せ集めた D 区, 収穫・地拵え・植栽などの処理をした B, C 区の, 大きく 3 つにまとまって分布しており, それぞれ種組成が異なることを示していた(図-5)。全ての環境変量が, 第一軸と有意な相関をもっていた。

CCA による直接傾度分析のため, 第一軸のスコアとの相関係数が 0.500 以上か -0.500 以下の 5 つの環境変量を選出した。ただし, 礫・リター+土の被度と CWD 最高高度・最低高度の間には互いに強い負の相関があったため(石・リター+土 $r=-0.839$, CWD 最高高度・最低高度 $r=0.927$), より第一軸との相関の高い, リター+土の被度と CWD 最低高度を選んだ。その結果, 土壌硬度, 相対光量子量, リター+土の被度, CWD 最低高度の 4 変量を CCA に用いることとなった。

CCA による解析の結果, 第一軸と第二軸をあわせると, 各プロットにおける種組成と環境変量のデータセットの変異を 27.2%説明できた。B, C 区では特に B 区で大きく 2008 年から 2010 年にかけて, 相対光量子量の減少する方向へ変化していているのに対して, D 区では 2008 年から 2009 年のみ変化が見られ, A 区では変化が見られなかった(図-6)。

考察

群落高は A, D, B, C の順で高かった。A では salvage logging や地拵えが行われておらず, 前生樹が残されたため, 高くなったと考えられる。D では重機の走行は salvage logging の際の一度だけで, 前生樹が少し生残できたため, 次に高くなったと考えられる。B, C では salvage logging と地拵えの際に, 植物が全て取り除かれたため低くなったが, B ではその後定着した植物が急激に成長したのに対して, C では下刈りによって植生高が低いままとなった。

在来・外来種数ともに B, C で多く, ついで D, A で最も少なかった。これは, 従来の施業によって光環境の良い, 開けた環境が形成された B, C で, 光を好む草本種が多く定着したためだと考えられる。一方で A では前生樹由来の稚樹が既に群落を形成しており, それらの草本類が定着できなかったため, あまり種数が多くなかったと考えられる。この結果は草本種の増加によって, 地拵えを行ったサイトの方が行っていないサイトより種の多様性が増えるという研究と一致している(11)。一方で倒木残置した A では, 種数は少ないが森林形成に大きな影響を与えているとされている前生樹由来の高木種が優占しており(6), 森林更新を考える上で一概に種の多様度が高い方が良いとは言えないと考えられる。

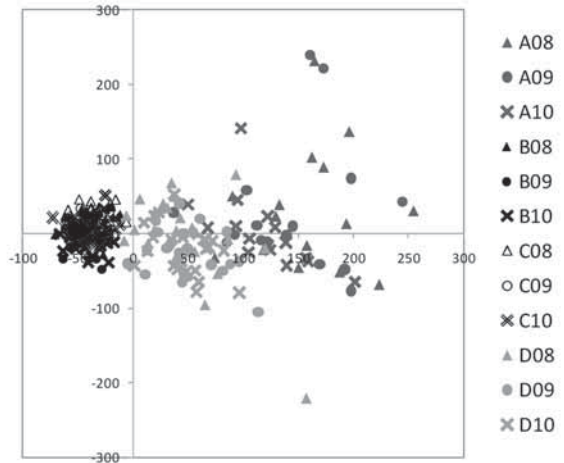


図-5 2008-2010 年植生の DCA による序列化

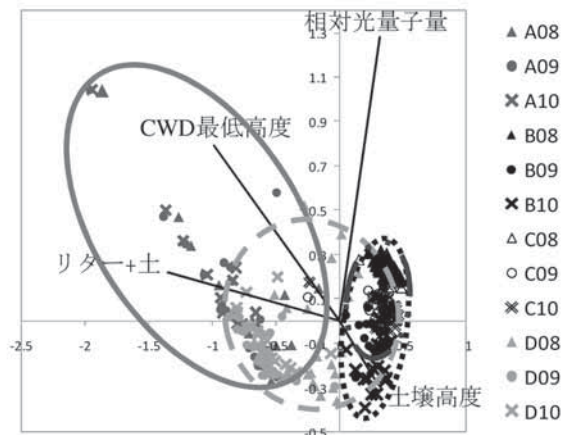


図-6 2008-2010 年植生の CCA による序列化

種組成の遷移は B で最も大きく, ついで C, D で見られたが, A では変化が見られなかった。B では, salvage logging, 地拵え, 植栽の処理によって, 一度植物が全て取り除かれたが, その後新たな種が次々と定着し(図-2, 3), 種組成が大きく遷移したと考えられる。C では加えて下刈りを行ったことによって, 新たな種の定着が小規模にとどめられたと考えられる。D では 2008 年から 2009 年に植生が大きく成長し, 種組成が遷移したが, その後新たな種の定着が妨げられたため, 2009 年から 2010 年では種組成に変化が見られなかったと考えられる。A では, 風倒後に残された前生樹由来の稚樹やシダ類などによって, 新たな種の定着がほとんど起らなかったために, 種組成の遷移が見られなかった。

引用文献

(1)del Rio, C.M.R. (2006) Changes in understory composition following catastrophic windthrow and salvage logging in a subalpine forest ecosystem. Canadian Journal of Forest Research-Revue Canadienne De Recherche Forestiere 36, 2943-2954.
 (2)Elliott, K.J., Hitchcock, S.L., Krueger, L. (2002)

Vegetation response to large scale disturbance in a southern Appalachian forest: Hurricane Opal and salvage logging. *Journal of the Torrey Botanical Society* **129**, 48-59.

(3)Foster, D.R. (1988) Disturbance History, Community Organization and Vegetation Dynamics of the Old-Growth Pisgah Forest, Southwestern New-Hampshire, USA. *Journal of Ecology* **76**, 105-134.

(4)清水建美 (編) (2003) 日本の帰化植物, 平凡社, 337pp.

(5)北海道立林業試験場 (2005) 2004年台風18号に関する調査速報

(6)Ishizuka, M., Toyooka, H., Osawa, A., Kushima, H., Kanazawa, Y., Sato, A. (1998) Secondary succession following catastrophic windthrow in a boreal forest in Hokkaido, Japan: The timing of tree establishment. *Journal of Sustainable Forestry*, **6**, 367-388.

(7)気象庁ホームページ

(<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>)

(8)Lain, E.J., Haney, A., Burris, J.M., Burton, J. (2008) Response of vegetation and birds to severe wind disturbance and salvage logging in a southern boreal forest.

Forest Ecology and Management **256**, 863-871.

(9)Lang, K.D., Schulte, L.A., Guntenspergen, G.R. (2009) Windthrow and salvage logging in an old-growth hemlock-northern hardwoods forest. *Forest Ecology and Management* **259**, 56-64.

(10)Nelson, J.L., Groninger, J.W., Battaglia, L.L., Ruffner, C.M. (2008) Bottomland hardwood forest recovery following tornado disturbance and salvage logging. *Forest Ecology and Management* **256**, 388-395.

(11)Peltzer, D. A., Bast, M. L., Wilson, S. D., Gerry, A. K. (2000) Plant diversity and tree responses following contrasting disturbances in boreal forest. *Forest Ecology and Management***127**, 191-203.

(12)Peterson, C.J., Leach, A.D. (2008) Limited salvage logging effects on forest regeneration after moderate-severity windthrow. *Ecological Applications* **18**, 407-420.

(13)Peterson, C.J., Leach, A.D. (2008) Salvage logging after windthrow alters microsite diversity, abundance and environment, but not vegetation. *Forestry* **81**, 361-376