

林内機械作業による土壌・植生への攪乱とその持続性の解明

ー長野県における土壌攪乱の持続性調査ー

大矢信次郎・戸田堅一郎・倉本恵生*・小山泰弘・鈴木秀典*

林内における機械走行が土壌や植生に与える影響を明らかにするため、2016年に霊仙寺山国有林のスギ皆伐地に設定した機械走行試験地において、土壌圧密化及び植生の経年変化を調査した。皆伐作業実施後の走行試験直後には、走行回数が1～3往復の試験区では土壌の圧密化が認められたが、11往復では泥濘化が発生したと考えられ、Nd値が低下していた。走行から2年後にはいずれの走行回数でもNd値は走行後より高くなり、11往復で最も顕著であった。また、機械走行地では走行直後は植生が衰退していたが、経年調査により機械走行地においても被度、植生高とも回復していることが確認され、3年後には無地拵え、隣接林内との差がなくなった。また、植生タイプは、5往復走行までは3年後までに高木性木本類の回復が認められたが、11往復では認められなかった。

キーワード：機械走行，土壌圧密化，植生，攪乱，持続性

1 はじめに

皆伐・再生林の低コスト化のために期待されている車両系林業機械の活用は、林内走行による森林土壌へのインパクトの増加が危惧される。これまでに北海道で車両機械の走行が土壌や植生に与える影響の解析が行われ、土壌については走行による土壌圧密から5～6年で回復する可能性が示され（佐藤ら 2018）、植生については2年後から被度、高さとも増加していくことが明らかにされてきた（倉本ら 2018）。また、長野県においても間伐時の林内走行による土壌の締め固めは、粗孔隙率が9年程度で走行前の状態に回復しつつあることが報告されている（近藤ら 2003）。本課題ではこれらの走行インパクトの持続性と一般性（土質や植生相の異なる地域にも成り立つのか）に焦点をあて、車両機械の走行による土壌圧密からの回復過程の詳細を解明する。当センターでは、長野県において機械の繰り返し走行試験地を設定し、土壌圧密の発生とその後の植生回復過程の解明を担当した（前者は戸田、後者は大矢が担当）。

なお、本研究は科学研究費助成事業（基盤研究C）により、国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所の倉本恵生氏を研究代表者として、同研究所北海道支所、北海道立総合研究機構林業試験場及び当センターの共同により2016～2019年度に実施した。

2 調査地と調査方法

2.1 調査地

林内における車両機械の走行が土壌の圧密化及び植生に与える影響を明らかにするため、上水

内郡信濃町に位置する霊仙寺山国有林のスギ皆伐地（標高900m）において、車両系林業機械の走行試験地を設定した。試験地の土壌は火山灰を母材とする黒色土（B1_D）であった。

2.2 調査方法

2016年6月22日に走行試験を実施した。走行試験には、KOMATSU PC138US（写真-1）をベースマシンとした油圧ショベル（機械重量1.3t、バケット容量0.45m³クラス）を使用した。皆伐作業時に機械が走行しなかった40mの直線斜面（平均傾斜14°）を選定し、1区間を10mとして、1回、3回、5回、11回ずつ往復走行を行う試験区を設定した（図-1）。

2.2.1 機械走行による土壌圧密化の経年変化

走行による土壌の圧密の指標とするため簡易貫入試験を実施した。試験は車両走行の前と、既定の回数を走行した直後、および約2年が経過し



写真-1 走行試験に用いた車両機械

*国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所

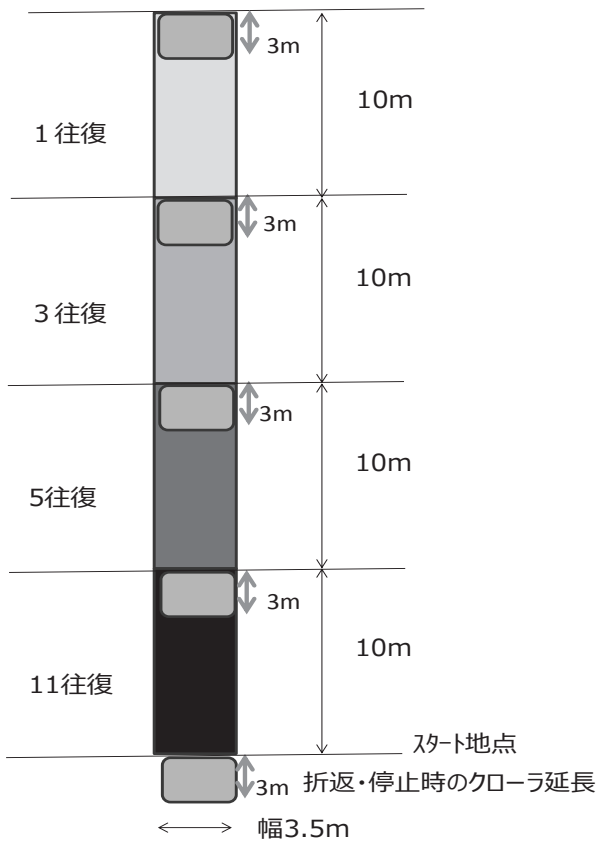


図-1 機械走行試験の概略図

た2018年7月25日に実施した。試験位置は各区間のスタート側から4m付近の轍で行い、前回の試験の影響を受けないように10cm程度ずつ位置をずらして行った。土壌貫入試験機は筑波丸東製を用い、5kgの重りを50cmの高さから自由落下させて打撃し、先端のコーンが10cm貫入するのに要した打撃回数の換算値をNd値とした。

2.2.2 機械走行による植生の経年変化

設定した走行試験地の初期の植生を把握するため、機械走行試験を行った20日後の2016年7月12日に、2m×2mの植生調査枠を走行回数ごとに1か所ずつ(2017年からは2か所ずつ)設置し、それをさらに4分割したうえで、全体被度(%), 最大植生高(cm)とその種名を記録した。最大植生を示した種については、1:裸地・低い草本, 2:ササ・シダ類, 3:つる性植物, 4:高茎草本, 5:低木, 6:高木, の6種類のタイプに分類し集計した。また、皆伐地の伐採前に類似した植生と考えられる隣接スギ林分内の4箇所、皆伐地内で機械が走行していない無地帯地4箇所においても、同様の植生調査を行った。継続調査は2017年7月12日, 2018年7月25日, 2019年7月2日に行い、植生の経年変化を把握した。

3 結果および考察

3.1 機械走行による土壌圧密化の経年変化

図-2に、試験区ごとの貫入試験結果を示した。

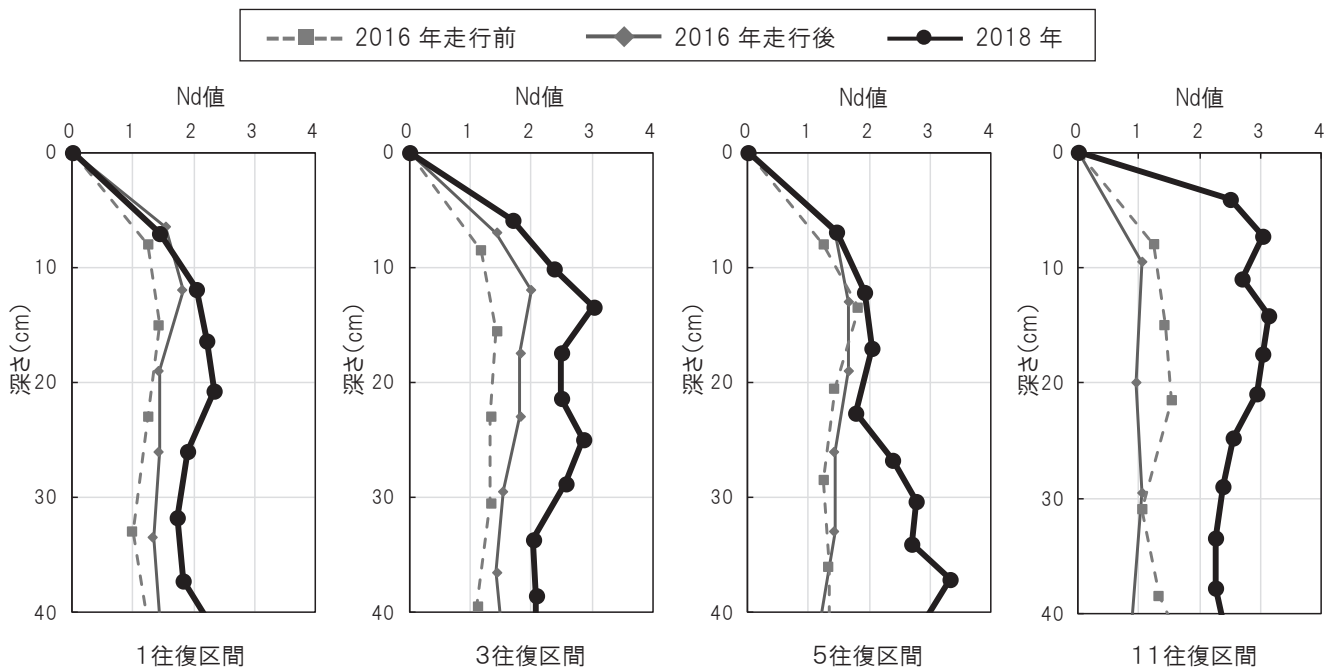


図-2 簡易貫入試験結果の機械走行回数による違い

縦軸に地表面からの深さ、横軸に Nd 値をとり、2016 年の車両走行前、車両走行後と 2018 年の試験結果を重ねて表示した。2016 年の調査では、Nd 値は、1 往復と 3 往復区間では走行後の方が高い値となり、5 往復区間では走行前後で同程度であるが、11 往復区間では走行後の方が低い値となった。2018 年の調査では、全ての区間において 2016 年の値よりも高い値になる傾向があり、11 往復区間では最も顕著であった。

以上の結果には、下記の仮説が原因として推測できる。林内を車両系機械が走行すると、少ない回数であれば土壌は圧密され Nd 値は高くなるが、さらに同じ場所を繰り返して走行すると、土壌の泥濘化が起こり Nd 値は低下する。その後、泥濘化を起こした土壌を放置すると、固結して Nd 値は高くなる。類似した研究例では、橋本ら (2014) が北海道札幌市において、本林分と同じ B1_b 土壌の林分で同クラスの油圧ショベルの走行試験を行い、1～4 往復までは貫入抵抗値が増加したが、5 往復目には抵抗値が減少したことを報告している。また、鈴木ら (2017) は、本研究の試験地に近接した黒姫山国有林において走行試験を実施し、土壌の泥濘化とその後の硬化を報告しているなど、これらの研究の結果は本研究の結果と一致している。このような、締固め→泥濘化→硬化と推察される現象を避けるためには、集材等で林内の車両走行をする場合には、同じ場所を繰り返し走行するのではなく、可能な限り異なる経路を選択して走行することが望ましい。

3.2 機械走行による植生の経年変化

3.2.1 全体被度の経年変化

走行回数ごとの平均全体被度は、試験地を設定

した 2016 年には極めて低く、いずれの走行回数においても 10%以下であった (図-3)。その後、年を経過するにつれて被度は高くなり、2 年経過後の 2018 年以降はいずれの走行回数においても 90%を超えた。走行回数による被度の有意差は、期間を通じて認められなかった。これらのことから、機械走行が植生の被度に及ぼす影響は 1 年後までは顕著に認められるものの、2 年後には 90%以上にまで回復し、何らかの植生にほぼ覆われる可能性が高いと考えられた。また、今回設定した 11 往復までの走行回数では試験区間の有意差は認められなかったことから、11 往復 (22 回) 程度の走行であれば 2 年ほどで被度は回復するものと考えられる。

次に、走行試験区と無地拵え及び林内の被度の経年変化を比較した。走行試験区を設定した 2016 年の平均全体被度は、走行試験区 (全走行回数の平均値) が 6%で最も低く、無地拵えが 38%、林内が 91%であり、各試験区間には相互に有意差が認められた (図-4)。その後、経年により各試験区とも被度は高くなり、1 年後までは各試験区間に有意差が認められたものの、2 年後の 2018 年以降はいずれの試験区においても 90%を上回り、走行試験区とその他の試験区との間に有意差は認められなくなった。

これらのことから、走行試験区、無地拵えとも 1 年後までは被度が低い状態にあるものの、2 年後には林内と同様の水準に回復すると考えられた。

本調査地と類似した研究として、北海道の作業道上の植生回復を調査した事例 (倉本ら 2018) では、開設から 1 年後には平均全体被度が 40%近くまで回復し、3 年後には 70%を超えていた。この

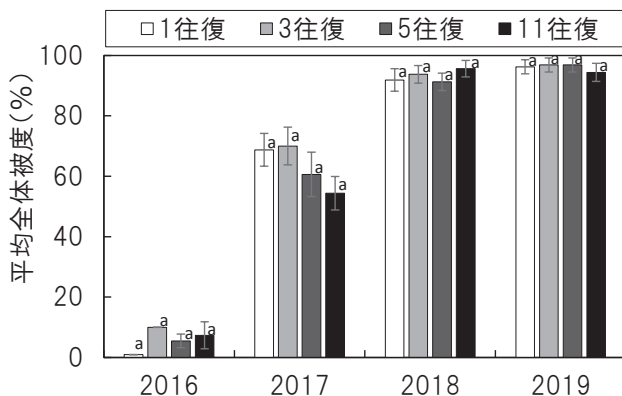


図-3 走行回数ごとの平均全体被度の推移

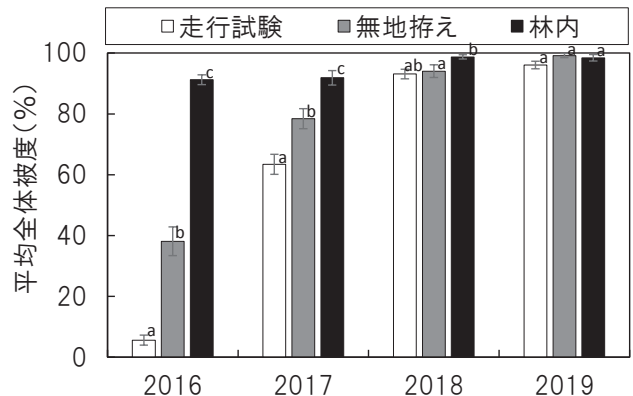


図-4 処理区ごとの平均全体被度の推移

※各年においてバー右肩に同一符号を含む試験区間には有意差なし ($p > 0.05$, Steel-Dwass の多重比較検定)

※エラーバーは土標準誤差 (SE)

事例は本調査より被度の回復が遅いが、この原因は、作業道では走行による締め固めに加えてバケットによる転圧も加わることから、土壌硬度が本調査より高かったためと推察される。

3.2.2 最大植生高の経年変化

走行回数ごとの平均最大植生高は、試験地を設定した2016年は14~33cmであったが、2017年は72~84cm、2018年は135~167cm、2019年には146~279cmと年を経るごとに高くなった(図-5)。2016年~2018年までは、走行回数間に有意差は認められず、2019年は5往復区が3、11往復区より有意に高かった。この原因は、5往復区においてはタラノキが局所的に生育し、それらの樹高が突出して高かったことによる。

次に、走行試験区と無地拵え、林内を比較すると、試験地設定時の2016年には走行試験区<無地拵え<林内の順で有意に平均最大植生高が高かったものの、これらの差は年を経るごとに小さく

なった(図-6)。走行試験区は2017年には無地拵えと有意差がなくなり、2018年以降は林内とも有意差がなくなった。

これらの結果から、機械走行が最大植生高に及ぼす影響について、走行回数が11往復までの条件下においては、回数にかかわらず最大植生高が1年程度で未走行の無地拵え区と同様になること、また2年後以降は、隣接林分の林内とも同程度にまで回復することが確認された。

3.2.3 最大植生のタイプの経年変化

各走行回数において最大植生高を示した植生タイプは、いずれの走行回数においても当初は植生が失われたことにより低い草本(ケチヂミザサ、アリノトウグサ等)や裸地が多かったものの、年を経るごとに高木(ウリハダカエデ、リュウブ等)及び低木(クマイチゴ、タニウツギ等)の割合が増加する傾向がみられた(図-7)。また、走行回数1~3往復に比べて5~11往復では、1~3年後

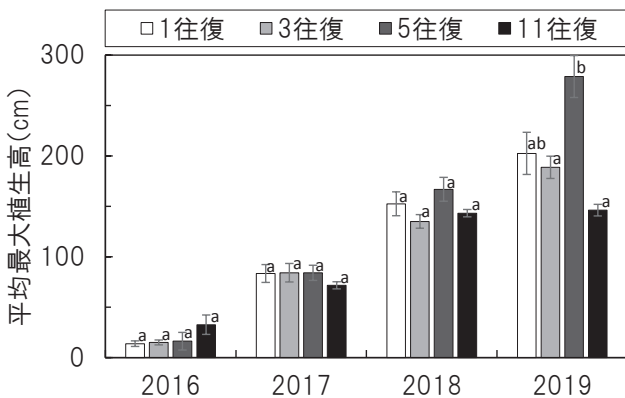


図-5 走行回数ごとの平均最大植生高の推移

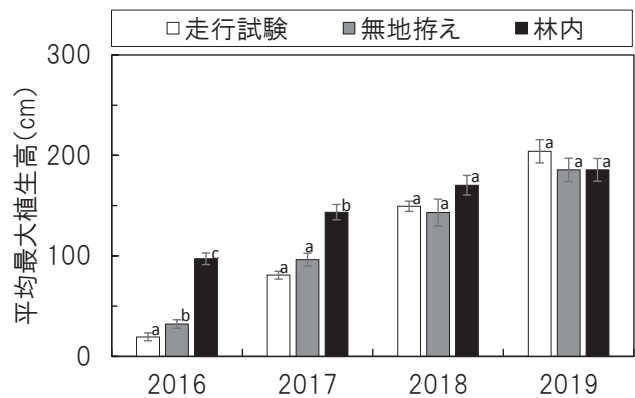


図-6 処理区ごとの平均最大植生高の推移

※各年においてバー右肩に同一符号を含む試験区間には有意差なし($p>0.05$, Steel-Dwass の多重比較検定)
 ※エラーバーは土標準誤差(SE)

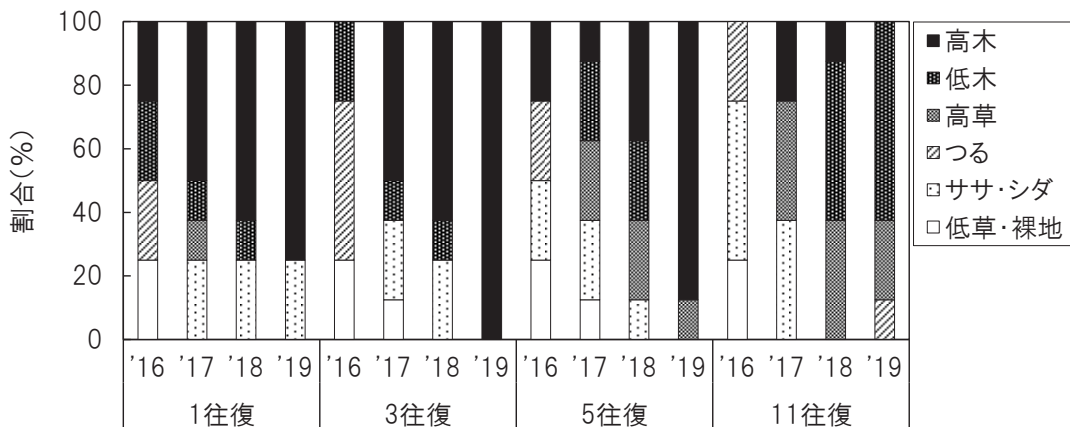


図-7 走行回数ごとの最大植生タイプの変遷

においても高茎草本（ヨツバヒヨドリ，ヨウシュヤマゴボウ等）の割合が多く，11 往復では高木の割合が上がりにくい傾向がみられた。

処理別で比較すると，無地拵えでは低い草本や裸地は走行試験区に比べて少なく，当初から高木，低木の木本類が半数以上を占め，ササ・シダ（ワラビ）も 2 割程度を占めていた（図-8）。これらの植生タイプの割合は年を経ても大きく変化しな

ったが，3 年後の 2019 年には高木とシダの 2 タイプのみになった。また，隣接林分の林内では，当初から低木，高木類が 7 割以上を占め，その後高木類の割合が増えていく傾向がみられた。

これらの結果から，機械走行によって一旦は裸地が増加した走行試験区でも，それらは年々減少し，3 年後には過半数が木本類に置き換わっていくことが示唆された。

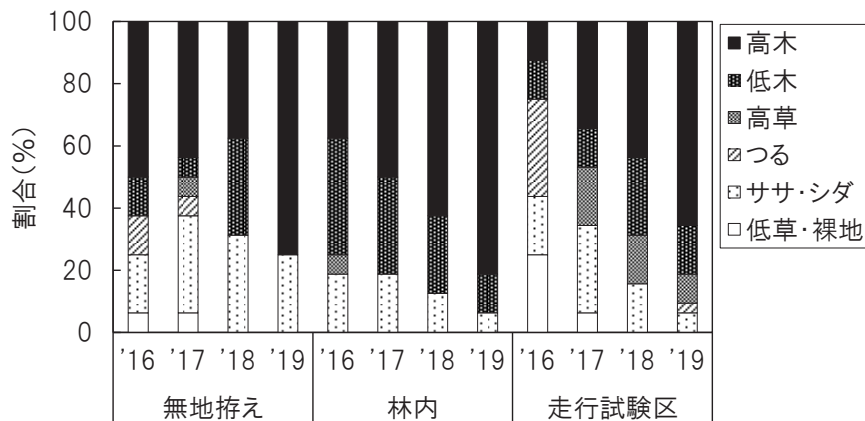


図-8 処理区ごとの最大植生タイプの変遷

4 まとめ

本研究の試験地においては，機械走行によって土壌物理性に関しては締め固めが生じ，走行回数が増えるにつれて走行直後の Nd 値は高くなるが，5 往復を超えると Nd 値は低下することが示された。しかし，走行から 2 年が経過した時点の方が Nd 値は高くなり，その傾向は 11 往復走行した試験区において顕著であった。このことは，走行後に泥濘化し軟化した土壌の水分がその後減少し固結化したことを示唆しており，今後は三相組成の変化と関連づけた調査が必要である。

植生に関しては，機械走行によって裸地や低い草本となり，遷移初期段階に後退するものの，2 年後以降は被度，最大植生高が急速に回復し，木本類に遷移していく経過が観察された。しかし，一見順調に植生が回復しているように見えるものの，走行回数が多い 11 往復区では，高木類の回復が遅れる傾向がみられている。このことは，土壌の圧密化が解消しておらず，根系伸長が困難な状態が継続している可能性を示唆しており，今後の植生回復の推移を引き続き調査する必要がある。

また，本研究では触れていないが，機械の繰り

返し走行により圧密化した土壌では植栽木の成長が阻害される事例が報告されている（猪内・安達 1984）ことから，本格的な皆伐，再生林の時代に備え，機械作業の最適化が求められる。

謝辞

本研究の実施にあたっては，中部森林管理局，同北信森林管理署，長野森林組合の皆様にご多大なるご協力をいただきました。ここに感謝申し上げます。なお，本研究は JSPS 科研費 JP16K07793 の助成を受けたものです。

引用文献

- 橋本徹・相澤州平・伊藤江利子・佐々木尚三(2014) ハーベスタ・フォワードダシステムにおける積雪期の間伐作業による土壌圧密の実態．北森研 62 : 87-88
- 猪内正雄・安達喜代美 (1982) トラクタ集材が伐採跡地に及ぼす影響 (I) トラクタ走行による土壌締め固めとカラマツ植栽苗木の成長．日林誌 64 : 136-142
- 近藤道治・宮崎隆幸・今井信 (2003) 機械化作業

システムに適合した森林施業法の開発－機械化作業が森林に与える影響－. 長野県林総セ研報 17 : 1-20

倉本恵生・津山幾太郎・橋本徹・石橋聰・佐藤弘和 (2018) 同一林分内の作設年代の異なる森林作業道上の植生発達. 北森研 66 : 23-25

佐藤弘和・津田高明・倉本恵生・飯田滋生・橋本徹 (2018) トドマツ人工林間伐時の車両走行に

より締め固められた集材路における土壌貫入抵抗の経年回復. 日林誌 100 : 110-115

鈴木秀典・中澤昌彦・佐々木達也・上村巧・吉田智佳史・陣川雅樹・戸田堅一郎・大矢信次郎・高野毅・近藤道治 (2017) 黒色土における林内走行の影響－ホイール式車両を用いた CTL システムの事例－. 森利誌 32 : 123-130