

令和 2 年 6 月 26 日現在

機関番号：82105

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K07793

研究課題名(和文) 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

研究課題名(英文) Soil and vegetation disturbance by forest vehicle operation

研究代表者

倉本 恵生 (KURAMOTO, Shigeo)

国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林総合研究所・主任研究員 等

研究者番号：00353673

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：車両機走行時の土壌の締固めの発生とその後の経年的回復過程や植生変化を異なる土質条件(堆積土・火山灰土)と植生相のもとで明らかにした。長野県北部の火山山麓地のスギ林で車両機走行試験を行い、走行翌年は走行回数が多いほど植被率が低くなる傾向がみられたが2年後にはほぼ変わらなくなることを示した。北海道の堆積土でも走行直後には高茎草本などの発達が走行で抑制されるが、2、3年で走行による植被率への影響がみられなくなった。また土壌締固め指数の考案により、森林作業道での土壌締固めからの回復に要する年数を推定した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

日本で車両系林業機械がよく使われている地域である北海道と長野県で機械が森林内を走行することによる影響(土壌締固めの発生と回復過程)を実証した。また機械が土を締め固めてからの回復にかかる年数を明らかにした。さらに走行の回数が林床植生に与える影響も示した。これらの知見は、適切な林内走行の基準づくりにも、森林作業道を低コストで作って維持する上においても有用である。また、日本の条件のもとで明らかにした意義が大きい。機械の走行の影響解明は機械開発と作業導入の先進地域である欧州で進んでいるが日本に多い火山灰土壌での影響は未知であった。また多様な植物の生える日本で植生への影響を明らかにしたことの意義も大きい。

研究成果の概要(英文)：The occurrence of soil compaction during vehicle operation and the subsequent soil recovery process and the vegetation change were clarified under different soil conditions (sedimentary soil and volcanic ash soil) and vegetation. A vehicle running experiment was conducted in a Japanese cedar forest at the foot of a volcanic mountain in the northern part of Nagano Prefecture, and it was revealed that the vegetation cover decrease as the number of times of driving increased the following year, while be unchanged after two years. Even in sedimentary soil in Hokkaido, the development of high-stem herbs and grasses were suppressed immediately after vehicle running, while the effect on the vegetation cover rate by running has disappeared in a few years. In addition, the number of years required for recovery from soil compaction on forest roads was estimated by a soil compaction index (SCI), proposed in this study.

研究分野：造林学、森林生態学

キーワード：車両系林業機械 作業システム 森林土壌 林床植生 林内走行 土壌硬度 土壌の締固め 森林作業道

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

車両機械による伐出作業は、効率的で安全であることから、日本においても傾斜地の少ない北海道ではこれからも拡大を続けていくと考えられる。さらに、伐採後の地拵においても車両系機械の導入が進められており、研究代表者らは北海道や長野県で伐採から地拵までの全機械化作業システムの開発を進めてきた。車両機械による伐出・地拵作業が発達してきた欧米では、重量のある機体が林地を通行することによる土壌の締固め(圧密)・引きはがし(剝削)が起きることが報告されている。また、通行程度や、土壌水分条件によっては、圧密や剝削ではなく泥濘化を生じることが報告されている。日本では車両機械による伐出が本格化したのは近年であるうえ、主に北海道に限定されてきたことから、林地への影響は実際にはほとんど検討されてこなかった。研究代表者らは、日本の機械化伐出作業で主に使われる建設機械を、走行回数を変えて林内で走らせる実験を実施し、走行前後の土壌や植生の調査・解析によって土壌圧密や植生変化の実態を明らかにした。機械が一回でも走行すると土壌表層が締め固められることや、走行で踏まれたところでの草本種の増加と樹木の更新の減退が起きていることを明らかにした。さらに、伐採の機械化が本格化する前から搬出が機械化されていたことに着目し、機械搬出を行った現場で作業直前直後の土壌硬度データを分析して土壌締固めの発生を実証した。しかし、締固めからの回復が具体的にどのような時間経過をたどって起きるかは未解明である。また、日本の車両機作業においては、機械の種類と土質において、車両機作業の先進地である欧州との違いを考慮する必要がある。日本ではクローラ式の建機がベースマシンに使用されることが非常に多く、作業のインパクトは作業の内容や台数によらず走行回数で一般化しやすい。日本は火山灰土壌が多く、逆に欧州の森林地帯にはほとんど見られない。火山山麓は地形的に機械作業が行いやすいことから火山灰土質での車両走行の影響を明らかにする必要がある。

2. 研究の目的

伐採再造林の低コスト化のために期待されている車両機械の活用は、機体による林地へのインパクトの増加を示唆する。研究代表者らは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を行い、土壌については走行による土壌圧密からの回復の可能性を、植生については外来雑草を含む非森林性の草本の増加を明らかにしてきた。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の締固めからの回復過程や林床植生の変化を実証することを目的とする。

3. 研究の方法

北海道中央部(美瑛市)の道有林トドマツ人工林(堆積岩土質:褐色森林土)を対象に、1)間接・2)直接のアプローチを組み合わせ、車両系林業機械の走行による土壌の締固めからの回復過程を明らかにした。1)作業年代による走行路の時系列化(間接時系列):当林分は北海道が毎年実施している林業機械の操作研修に使用され、少しずつ場所を変えて林内作業の実習が行われている。そのため、他の条件(林相・土質・時期・使用機械)が同一で作業年代が違う走行路が分布している。この走行路ごとに土壌硬度と林床植生の調査を行い、その結果を時系列化した。2)新たな作業箇所での経時追跡(直接時系列):研修実習地において走行前の土壌硬度を測定しておき、現地観測等で走行路分布と走行回数を把握したうえで、土壌硬度と植生の変化を毎年調査した。

長野県北部(信濃町)の国有林スギ人工林(火山灰土質:黒色土)では、1)皆伐地で建機型車両(クローラ式建機)の走行回数を変えて試験走行させ、走行前後およびその後1年ごとの土壌硬度と植生の変化を明らかにした。また、2)ホイール式林業専用機による間伐地でも試験走行を行い同様の調査を行った。

車両機の地拵え作業が、走行による締固めと、林床植生の発達に及ぼす影響を調査した。長野県北部(信濃町)のスギ人工林皆伐地では建機のバケットとグラップルヘッドによる地拵え作業地でのわだち(伐出時の機械の走行により形成される)の存否と林床植生の発達状態を調査した。北海道北部(下川町)のカラマツ皆伐跡地ではホイール式林業専用機とクローラ式建機のそれぞれの伐区においてクラッシャー(枝条や植生を破砕するアタッチメント)とバケットによる地拵えをそれぞれ行い、伐出時の機械走行によるわだちの残存状況と林床植生の発達状況を調べた。

4. 研究成果

1) 作業道上の土壌締固めからの回復過程と植生変化

作業道上の土壌硬度の測定結果を開設年代の異なる地点や測定年次間で比較するため、本研究で土壌締固め指数(SCI)を考案し提唱した(佐藤ら 2018)。土壌締固め指数は締固められた測定点の土壌硬度の加重平均値を、その近傍にある無走行地点の土壌硬度の加重平均値で割ったものであり、測定器具や土壌深度区間によらず一般化できる。美瑛道有林の開設年代の異なる作業道で土壌締固め指数を比較したところ、同じ時点では開設年代が古いほど低く、さらに同じ地点では開設からの年数が進むほど低くなっていた(図1)。また機械や土質などの条件が同じであれば開設からの時間にそって(走行による締固め)同じように回復が起こると考えられた。この結果から、締固めから完全に回復する(土壌締固め指数が1になるのに要する年数)を推定した

ところ、12～15 年を要すると推定された。回復過程は土工（切土）の有無によっても異なり、切土を行って締め固めた作業道よりも行わずに開設した作業道の方が土壌締め固めからの回復が早いと推定された。林床植生は開設後 2 年目から発達し 4 年目には道すがら植生に覆われた（図 2）。わだち面（土壌が締め固められた部分）と周辺にはスゲ類が翌年には繁茂し、2 年目には走行面をほぼ覆った。遅れて、イネ科・カヤツリグサ科・キク科高茎草本の発達が始まっていた（倉本ら、2018）。

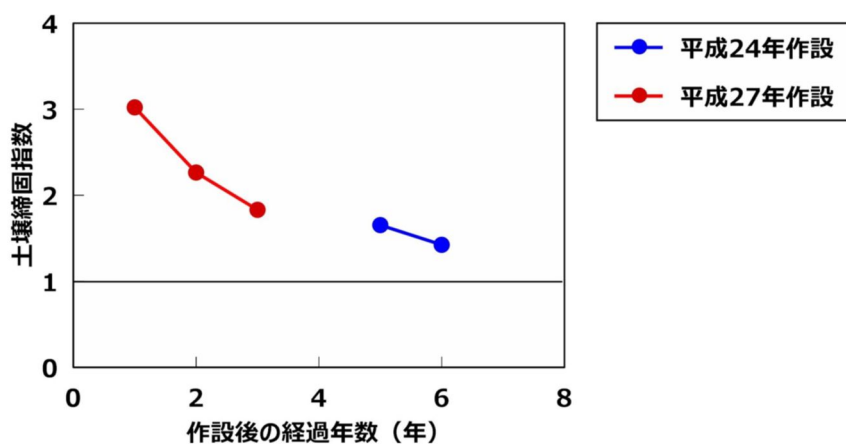


図 1 . 開設年代の異なる作業道上の土壌締め固め指数の変化

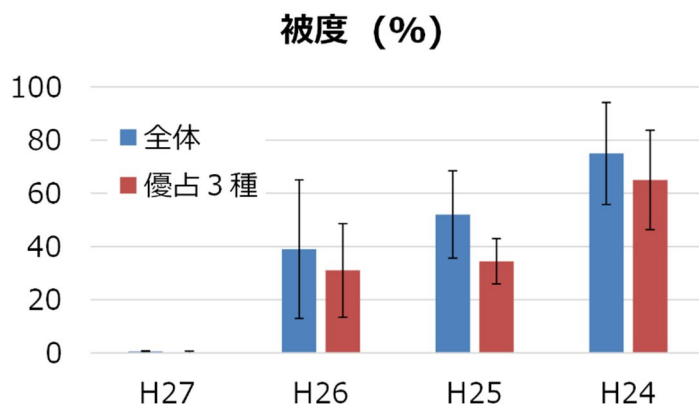


図 2 . 開設年代の異なる作業道上の林床植生の発達状況 (平成 28 年調査)

2) 走行後の植生変化

長野県北部のスギ林でクローラ式建機の走行回数を変えて試験走行させた後の植生変化を示した（図 3）。2016 年春に走行させた後、当年の夏は隣接する林内や無走行・無地拵えの伐採地に比べ、植生発達が抑えられていた。走行回数が多いほどやや群落高が高くなっていった。一方、翌年には走行回数の影響はなく、林内や無処理と同じように植生が発達していた。間伐地で行った結果もほぼ同様で、走行部分は走行回数に関わらず周囲と同じように植生が繁茂していた。これらは火山灰土壌のスギ林の結果であるが、先行研究での堆積土・トドマツ林での結果とほぼ同じような時間経過をたどっていた。もともと林内に落葉広葉樹やシダ類が多い分、植生の発達がやや早いと考えられた。作業道の結果と同じように、クローラが踏みつけた部分はスゲ類や特定の匍匐性の草本が多くなっていった。これらは走行直後から速やかに増加するが、翌年には皆伐地では造林地に多い落葉樹や草本およびシダ、間伐地では林内に多い低木類が増加し、走行路全体に繁茂していた。これも北海道の堆積土壌のトドマツ林でも同様の傾向であった。

3) 機械地拵え後の植生変化

長野県北部のスギ林伐採地でのバケット・グラブヘッドによる機械地拵えは、人力による地拵えに比べ、翌年までの植生の発達が抑えられていた。バケットは落葉広葉樹が他の地拵え処理に比べて少なくなっていた。北海道北部のカラマツ林伐採地でクラッシャー地拵えとバケット地拵えを比較すると、翌年の高茎草本はクラッシャー地拵えが少なく、ササはバケットの方がやや少なかった（図 4）。ホイール式専用機の伐区は伐出時の機械の走行によるわだちが形成されており、クラッシャー地拵えではわだちがそのまま残っていたのに対し、バケット地拵えでは残っていなかった。クラッシャーは地表面の植生を枝条とともに破碎し、破碎物の被覆効果によって植生の発達を抑制する。一方、バケット地拵えは土壌表層の根茎ごと植生を取り去る。クラ

ツッシャーの破碎効果は土壌中には及ばないため根茎は残存する。このため、根茎から速やかに稈を伸ばすササの場合はバケットによる除去効果が大きく、高茎草本の場合は地上部が完全に破壊され堆積破碎物の被覆効果で発芽伸長が抑制されるためクラッシャーでの抑制効果が高かったと考えられる。このような機械地拵えの植生発達抑制効果は時限的で、2年目以降は効果が薄れ、3、4年目には効果が無くなっていた。

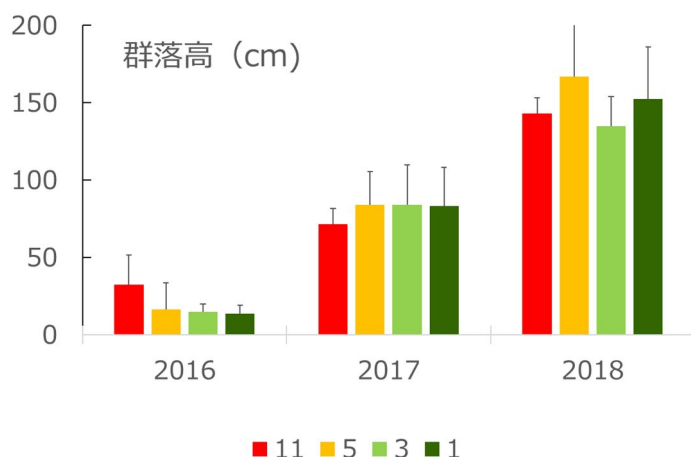


図3．長野県北部、黒色土上のスギ林伐採地での車両機走行後の植生変化（色の異なる数字は機械の往復回数を示す）

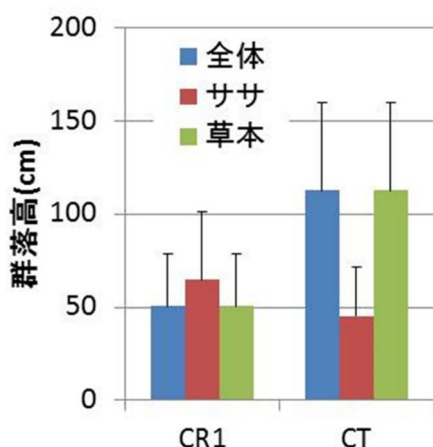


図4．地拵え翌年のササと草本の繁茂状況（CR1：クラッシャー地拵え、CT：バケット地拵え、北海道下川町のカラマツ伐区）

4) まとめ

車両機の走行による土壌締固めからの回復は、走行翌年から年を追うごとに進み、クローラ式建機の林内走行では北海道の堆積土では5年程度で回復したところ、長野県の火山灰性土でも同様の回復をたどった。一方、切土を行って開設した作業道では12～15年を要すると推定された。林床植生の発達は翌年から進行し、2年で周囲と同程度の発達を示した。走行から1年程度は周囲よりも植生発達が抑制されていた。機械地拵えは、伐出時の機械走行による土壌締固めを緩和した上で、除去や破碎物被覆によって植生発達をより強く抑制した。ただしその効果は1年程度でいずれの結果でも3年程度で植生は周囲と同程度に回復した。

これらの結果からクローラ式建機による林内走行や作業道走行では、堆積土でも火山灰性土でもある程度の年数で土壌締固めから回復し、その年数を推定することができる。また植生も一時的には抑制されるが数年で回復することが示された。ただし、今後の出材量増加による走行回数の増加や機械の大型による影響を評価する必要がある。また、火山灰性土でも粒径の異なるタイプがあり、より一般化できる評価法の開発が今後の課題である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 6件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 HASHIMOTO Toru(橋本徹)、AIZAWA Shuhei(相澤州平)、ITO Eriko(伊藤江利子)、KURAMOTO Shigeo(倉本恵生)、SASAKI Shozo(佐々木尚三)	4. 巻 23(4)
2. 論文標題 Evaluation of soil compaction by a tracked vehicle in a planted Abies sachalinensis forest in Hokkaido, Japan(日本、北海道のトドマツ人工林における無限軌道車両による土壌圧密の評価)	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Forest Research	6. 最初と最後の頁 204-213
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1080/13416979.2018.1469210	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 佐藤弘和、津田高明、倉本恵生、飯田滋生、橋本徹	4. 巻 100(4)
2. 論文標題 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	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 日本森林学会誌	6. 最初と最後の頁 110-115
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 倉本恵生、伊東宏樹、関剛、津山幾太郎、石橋聡	4. 巻 33
2. 論文標題 トドマツ人工林主伐後の重機による地表処理における処理幅と作業方向による作業効率と植生除去効果の違い	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 森林利用学会誌	6. 最初と最後の頁 5-13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.18945/jjfes.33.5	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 倉本恵生、津山幾太郎、橋本徹、石橋聡、佐藤弘和	4. 巻 66
2. 論文標題 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	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 北方森林研究	6. 最初と最後の頁 23-25
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 大矢 信次郎, 中澤 昌彦, 猪俣 雄太, 陣川 雅樹, 宮崎 隆幸, 高野 毅, 戸田 堅一郎, 柳澤 賢一, 西岡 泰久	4. 巻 33
2. 論文標題 緩傾斜地から中傾斜地における機械地拵え作業の生産性とコスト	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 森林利用学会誌	6. 最初と最後の頁 15-24
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.18945/jjfes.33.15	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 橋本徹, 相澤州平, 伊藤江利子, 倉本恵生	4. 巻 65
2. 論文標題 グラッブルバケットによる地掻き後の土壌断面形態	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 北方森林研究	6. 最初と最後の頁 69-72
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 佐藤弘和, 山田健, 佐々木尚三, 岩崎健太	4. 巻 182
2. 論文標題 過去に使った森林作業道の再利用 - 道路の締固めは重要です	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 光珠内季報	6. 最初と最後の頁 6-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計9件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 倉本恵生, 鈴木秀典, 大矢信次郎, 佐藤弘和, 津山幾太郎
2. 発表標題 長野県北部のスギ林に設定した車両機折り返し走行試験地における林床植生の発達経過
3. 学会等名 森林利用学会学術研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大矢信次郎、中澤昌彦、瀧誠志郎、倉本恵生
2. 発表標題 機械地拵えによる競合植生の抑制効果
3. 学会等名 森林利用学会学術研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐々木尚三、倉本恵生、中澤昌彦、山田健
2. 発表標題 車両系林業機械による林内作業と林分への影響
3. 学会等名 第130回日本森林学会大会（企画シンポジウムS13）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐藤弘和、津田高明、岩崎健太、橋本徹、山田健、佐々木尚三、倉本恵生、飯田滋生、津山幾太郎
2. 発表標題 集材路での車両走行後における土壌物理性の回復
3. 学会等名 第130回日本森林学会大会（企画シンポジウムS13）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山口岳広、倉本恵生、佐々木尚三
2. 発表標題 林業機械の伐出作業に伴うトドマツ残存立木幹・地表部根系の損傷と腐朽被害
3. 学会等名 第130回日本森林学会大会（企画シンポジウムS13）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大矢信次郎、清水香代、中澤昌彦、猪俣雄太、瀧誠志郎、倉本恵生
2. 発表標題 機械地拵え実施地における植被率及び土壤硬度の経時変化
3. 学会等名 森林利用学会第24回学術研究発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 大矢信次郎、清水香代、中澤昌彦、瀧誠志郎、倉本恵生
2. 発表標題 機械地拵えによる競合植生抑制の可能性
3. 学会等名 第129回日本森林学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 倉本恵生、佐々木尚三、津山幾太郎、原山尚徳、上村章、山田健、宇都木玄、斎藤丈寛
2. 発表標題 北海道のカラマツ人工林伐跡における車両機地拵後の地表植生変化
3. 学会等名 第129回日本森林学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大矢信次郎、西岡泰久、戸田堅一郎、宮崎隆幸、陣川雅樹、上村巧、中澤昌彦、猪俣雄太、倉本恵生
2. 発表標題 緩～中傾斜地における機械地拵えの生産性と植生に与える影響
3. 学会等名 第23回森林利用学会学術研究発表会
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

積雪には林業機械作業から林地を保護する効果が見られた（森林総合研究所＞研究紹介）
<https://www.ffpri.affrc.go.jp/research/saizensen/2018/20180803-02.html>
地方独立行政法人北海道立総合研究機構林業試験場＞刊行物＞光珠内季報-H28年度-
<http://www.hro.or.jp/list/forest/research/fri/kanko/kiho/kihoh28.htm>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	大矢 信次郎 (OHYA SHINJIRO) (50584885)	長野県林業総合センター・育林部・主任研究員 (83601)	
研究分担者	佐藤 弘和 (SATO HIROKAZU) (70522217)	地方独立行政法人北海道立総合研究機構・森林研究本部 林業試験場・研究主幹 (80122)	
研究分担者	津山 幾太郎 (TSUYAMA IKUTAROU) (80725648)	国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林総合研究所・主任研究員 等 (82105)	