

## 車両系皆伐作業における集材路の実態把握\*

生駒直\*\*・齋藤仁志\*\*\*・立川史郎\*\*\*

生駒直・齋藤仁志・立川史郎：車両系皆伐作業における集材路の実態把握. 森利誌 37 (1) : 39 ~ 46, 2022. 経済性と林地荒廃リスクへの配慮が両立可能な皆伐作業を実現するための基礎情報提供を目的として、皆伐地集材路の実態を把握した。調査は皆伐地 63 か所を対象として行った。調査の結果、集材路密度は全伐区の平均が 361 m/ha となり、伐区の地山傾斜にかかわらず高い値を示した。平均集材距離、配置形態および集材方法の観点から検討したところ、高密に開設されていてもネットワークの発達に寄与していないなど、必要以上の開設が行われていることが示唆された。集材路の盛土崩壊は 168 か所確認され、特に地山傾斜 30°以上の急傾斜地では盛土崩壊リスクが大きくなることが明らかになった。急傾斜地においても一定量の集材路が開設されており、そのような場所で生じた盛土崩壊により、継続的な利用が困難となっている状況も多くみられた。また、集材路に関する林地荒廃の割合も大きいことが明らかになった。  
キーワード：皆伐、集材路、路網密度、盛土崩壊、林地荒廃

Nao Ikoma, Masashi Saito and Shiro Tatsukawa : **Grasping the actual state of skidding road in clear cutting with a vehicle logging system. J. Jpn. For. Eng. Soc. 37(1): 39 - 46, 2022.** This study investigated the actual condition of skidding roads in clear-cut areas to provide information to support efficient and low-risk landslide clear-cutting operations. The survey was conducted in 63 clear-cut areas and the results showed that the average density of skidding roads was 361 m/ha, which was high, regardless of the ground slope of the clear-cut area. The study results in terms of average yarding distance, road layout, and the yarding method suggested that an excessive number of roads were established. This is because they did not contribute to the network development even though they were established at high density. Furthermore, 168 points of filling collapse were observed in the skidding roads, and the risk of filling collapse was very high on steep slopes with a slope of 30° or more. Several yarding roads were established in the steep slopes, and many roads were not easy to use continuously due to the filing collapse. Additionally, the percentage of forest land devastation related to skidding roads was large.

**Keywords** : clear cutting, skidding road, forest road density, slope failure of embankment, degraded forest land

---

2021 年 9 月 30 日受付, 2021 年 12 月 12 日受理

連絡先 (Corresponding author) : 齋藤仁志 (Masashi Saito) Email : msaito@iwate-u.ac.jp

\* Grasping the actual state of skidding road in clear cutting with a vehicle logging system

\*\* Nao Ikoma 岩手大学大学院総合科学研究科 Grad. Sch. of Arts. and Sci., Iwate Univ., Morioka 020-8550

\*\*\* Masashi Saito and Shiro Tatsukawa 岩手大学農学部 Fac. of Agric., Iwate Univ., Morioka 020-8550

## 1. 背景と目的

近年、国内の人工林面積の半数が50年生を超えるなど森林資源が利用適期を迎えたこともあり、国産材供給量が増加傾向である（林野庁 2021）。加えて、年間の国産材供給量の約75%が主伐によるものであり（林野庁 2020a）、主伐のほほすべてが皆伐であると考えられることから全国的に皆伐が増加していると言える。近年の皆伐の特徴として、高性能林業機械と高密路網を用いた車両系集材による作業が挙げられる。

車両系集材には、林業機械が直接林地に乗り入れることが可能な緩傾斜地を除いて、高密路網の開設が必要となる。間伐の場合は継続的に用いられることを前提とした森林作業道が開設されるが、皆伐では林業機械等が一時的に走行することを目的とする仮施設である「集材路」（林野庁 2020b）が開設される。

高密な森林作業道や集材路は、早く、安全な作業を可能にするため経済的な観点からは必要不可欠である。特に皆伐では経済性が重視されるため、路網密度300 m/ha以上の非常に高密な集材路が開設された事例も存在する（片桐 2018）。

皆伐についての既往研究では、車両系皆伐作業の生産性を報告した事例（舟木・杉原 2012, 大矢ら 2016, 片桐 2018）が多い。集材路については、高性能林業機械が普及する以前に行われていたトラクタ集材について、集材路の導入に影響を与える因子や配置計画法などの研究が行われてきた（井上 1987, 1989 など）。しかし、現在の高性能林業機械を用いた集材路については、配置・密度などその実態を調査した事例は少ない。主伐時における伐採・搬出指針（林野庁 2020b）には、集材路の配置・作設について「必要最小限の集材路・土場の配置を計画する。」と記載されているが、具体的な開設量は示されていない。集材路の開設に関して、実質的にはほぼ制限がない状態であるため、集材作業を効率化するために超高密な集材路の開設が予想される。

高密路網について、大橋・神崎（1989）、酒井（2004）は、35°以上の急傾斜地での開設は困難としている。既往研究では、森林作業道の損壊について、30°以上の急傾斜地で損壊の多くが発生することを示したもの（白田 2019）や、地山傾斜と損壊の関係を定量的に示したもの（生駒ら 2020）がある。いずれの場合も、地山傾斜が30°以上の場合に損壊リスクが上昇することを示してい

る。集材路については、森林作業道作設指針に準じた構造ではないため、損壊リスクがより高くなることが予想される。しかしながら、集材路の損壊について網羅的に調査した事例は存在せず、損壊リスクは定量的に把握されていない。

このように近年の車両系皆伐作業における集材路について、密度や配置、損壊状況などその実態を定量的に把握した事例は少ない。そのため、どのような配置や集材作業が行われているか、開設された集材路が継続的に利用可能であるかなど、その実態は把握されていない。また集材路の損壊は、路網の継続的な利用を困難にするだけでなく、多量の土砂が流出した場合には林地荒廃や山地災害につながる可能性もある。今後、皆伐が継続的に行われるであろうことを考えれば、集材路の損壊リスクを定量的に把握することは、安全かつ持続可能な皆伐作業を実現するために重要である。以上より本研究では、経済性と林地荒廃リスクへの配慮が両立可能な皆伐作業を実現するための基礎情報提供を目的として、皆伐地に開設された集材路の実態を把握し、それを定量的に評価した。

## 2. 方法

### 2.1 調査地

調査は、同一地方の皆伐地63か所を対象として2020年8月から2021年8月にかけて行った。調査地（伐区）の基本単位は林小班とし、複数の林小班にまたがって作業が行われていた場合は合わせて1つの伐区として取り扱った。調査対象は2014年度以降に皆伐が実施された事業地とした。これは下層植生の繁茂が少なく、明瞭に路網を見分けることが可能だと考えられたためである。伐区面積は全伐区の平均が5.7 ha、最大の伐区は33.1 ha、最小の伐区は0.8 haであった。伐区の平均傾斜は、全伐区の平均が21.7°、最大の伐区は35.5°、最小の伐区は7.4°であった（表-1）。

### 2.2 調査項目および方法

すべての伐区でUAVによる写真撮影を行った。併せて集材路の幅員、横断排水溝設置状況および盛土崩壊区間の確認を行った。

UAVで撮影した写真からオルソ画像（平均解像度4.4 cm）およびDSM（平均解像度4.3 cm）を作成し、目視判読により、集材路および皆伐範囲の抽出を行った

表-1 伐区および集材路の概況

	伐区面積 (ha)	伐区の平均傾斜 (°)	集材路延長 (km)	集材路密度 (m/ha)	平均集材距離 (m)	$\mu$ 指数
平均値	5.7	21.7	2.0	361	10.6	1.7
最大値	33.1	35.5	6.6	635	23.9	14
最小値	0.8	7.4	0.3	199	5.4	0
標準偏差	4.9	7.0	1.4	95	3.7	2.5

(図-1)。抽出された集材路および皆伐範囲から、集材路密度、集材路が形成する閉回路数 ( $\mu$  指数)、集材距離および平均集材距離を伐区ごとに算出した。集材路密度は、伐区内に林道などがある場合でもそれらを含まず、集材路のみを対象として算出した。集材路が形成する閉回路数は、配置の形態的特徴を捉えるために算出した。集材路を点 (ノード) と線 (エッジ) で表し、それらの数から (1) 式より算出した (松本・北川 2000)。

$$\mu = m - n + p \quad (1)$$

ここで、 $\mu$  : 閉回路数 ( $\mu$  指数),  $m$  : エッジの数,  $n$  : ノードの数,  $p$  : 路網の成分の数である。ノードは路線が交差する点および路線の端点, エッジはノード間をつなぐ路線である。 $\mu$  指数が 0 であることは、その集材路は循環が形成されていない、樹枝状であることを示している。集材距離は、5 m メッシュの点格子法 (鈴木 2020) により算出した。点格子法により算出した集材距離から伐区ごとに平均集材距離を求めた。そして、(2b) 式で定義される路網密度に応じた平均集材距離の理論的最小値 ( $RE_0=2500/\text{路網密度}$ ) と比較した。また、(2a) 式で定義される路網配置係数  $V_{\text{corr}}$  の値を変化させた場合の路網密度に応じた平均集材距離の理論値も併せて示した。

$$RE_m = (2500/WD) \times V_{\text{corr}}, RE_0 = (2500/WD) \quad (2a,b)$$

ここで、 $RE_m$  : 平均集材距離 (m),  $WD$  : 路網密度 (集材路密度) (m/ha),  $V_{\text{corr}}$  : 路網配置係数である。

盛土崩壊区間はオルソ画像, DSM の目視判読および現地確認により特定した。

### 2.3 集材方法の推定

伐出を行った事業者は、効率的な集材作業を実施する

ために集材路を開設し、集材距離を短縮している。集材距離によって利用可能な集材方法は異なるため、用いられる集材方法によって集材路密度が決定されると考えられる。どのような集材方法を用いるために集材路が開設されていたかを明らかにするため、伐区ごとに集材方法を推定した。

最初に集材距離に応じて、用いられる集材方法を想定した。伐採木の平均樹高を 20 m と仮定し、集材距離 20 m までは集材路上からグラップルによる直接集材、集材距離 50 m 程度まではウインチ単引き (グラップルウインチによる単線地引き集材) が用いられることが多い (後藤 2008) ことから、集材距離 50 m まではウインチ単引き、集材距離 50 m 以上はスイングヤード等の中距離集材可能な方法で集材が行われると想定した。次に 5 m メッシュで算出された集材距離から、それぞれの集材方法に応じた (ある集材距離以内の) 集材可能面積を求め、その面積が伐区の面積に占める割合 (百分率) を (3) 式より算出した。

$$P_{0-x} = \left(\frac{A_{0-x}}{A}\right) \times 100 \quad (3)$$

ここで、 $x$  : 集材距離 (m),  $P_{0-x}$  : 集材距離 0 m ~  $x$  m における集材可能面積が伐区の面積に占める割合 (%),  $A_{0-x}$  : 集材距離 0 m ~  $x$  m における集材可能面積 (ha),  $A$  : 伐区の面積 (ha) である。最後に集材方法に応じた  $P_{0-x}$  の値から、用いられた集材方法を推定した。

### 2.4 集材路崩壊リスクと林地荒廃への影響

2.4.1 対象とした路網損壊 路網の損壊は、切土崩壊、盛土崩壊および路面侵食の 3 つに大別される。これらの損壊のうち、盛土崩壊は崩壊土砂が下流部まで流下する場合もあるため、林地荒廃や山地災害につながる可能性が最も高い。また、盛土とともに路体そのものが崩壊した場合、継続的な利用が困難になる。そのため本研究では、林地荒廃に関連した路網損壊として盛土崩壊を対象とし、集材路の崩壊リスクを把握した。

2.4.2 地山傾斜に応じた盛土崩壊リスク 以下の分析にはすべて解像度 5 m の DEM を用いた。そのため、全伐区 63 か所のうち、解像度 5 m の DEM が存在する範囲の 44 か所を分析対象とした。はじめに、盛土崩壊区間の地山傾斜を取得した。地山傾斜は集材路の対象区間に片側 5 m のバッファを発生させ、その範囲の平均値として取得した。以下の分析において、地山傾斜の取得はすべて同じ方法を用いた。次に、盛土崩壊リスク (盛土崩壊の起こりやすさ) の観点から集材路の配置実態を把握するため、地山傾斜に応じた配置延長を求めた。また、定量的な盛土崩壊リスクとして地山傾斜に応じた 10 m 区間損壊率を求めた。これらを求めるため、すべての路線を 10 m 区間に分割し、区間ごとに地山傾斜を取得した。その区間の地山傾斜により、すべての 10 m 区間を用いて度数分布表を作成し、地山傾斜に応じた配置延

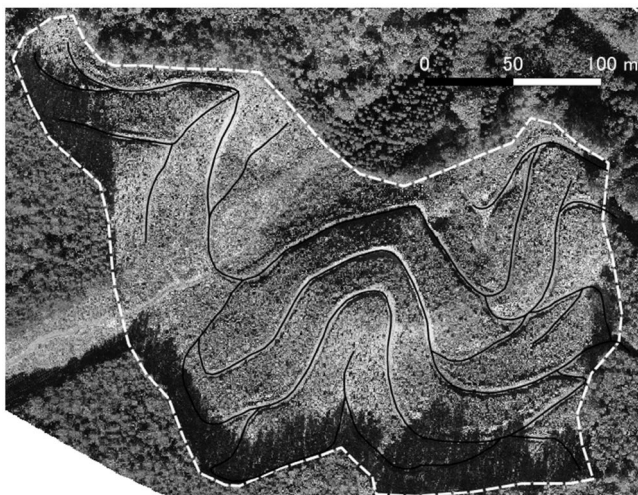


図-1 オルソ画像から抽出された集材路と皆伐範囲  
注) 実線は集材路, 破線は皆伐範囲を示す

長を把握した。また、盛土崩壊の存在する 10 m 区間のみを用いて、すべての 10 m 区間の度数分布と同じ階級幅で度数分布を求めた。対応する階級ごとに盛土崩壊区間の度数をすべての区間の度数で除したものの（百分率）を 10 m 区間損壊率と定義した。例えば、地山傾斜  $30^\circ \sim 35^\circ$  の 10 m 区間が 100 区間あり（すべての区間）、そのうちの 10 区間に盛土崩壊が存在すれば、地山傾斜  $30^\circ \sim 35^\circ$  の 10 m 区間損壊率は 10% となる。厳密には、10 m 区間損壊率は地山傾斜に応じた損壊割合であり、盛土崩壊リスクではない。しかし、一定量のサンプルが確保できていることから、本研究では 10 m 区間損壊率を地山傾斜に応じた集材路の盛土崩壊リスク（盛土崩壊の起こりやすさ）とみなした。また、ここでの盛土崩壊リスクとは、あくまで集材路における盛土崩壊の起こりやすさを示すものであり、林地荒廃リスクとは異なる。なぜならば、すべての盛土崩壊で必ずしも明確な土砂流出は生じないからである。本研究では集材路の設置条件として地山傾斜のみを取扱った。その理由として、地山傾斜以外の設置条件（曲率、集水面積、地質構造および経過年数など）と路網損壊の関係は不明確であること、地山傾斜が崩壊危険度の指標として高い信頼性を持つ（白田 2019, 生駒ら 2020, 吉村・齋藤 2021 など）ことが挙げられる。

**2.4.3 集材路崩壊による林地荒廃への影響** 集材路崩壊による林地荒廃への影響を明らかにするために、オルソ画像および DSM より、皆伐範囲内において崩壊地を目視判読により抽出した。各崩壊地について集材路の有無を判読することで、集材路が関係すると推定される非自然斜面の崩壊（盛土崩壊および切土崩壊）と自然斜面の崩壊の 3 種類に分類した。ここでの自然斜面の崩壊とは、皆伐範囲内において集材路が存在しない斜面に生じた崩壊のことである。それぞれの崩壊について、崩壊面積を求めた。また、崩壊地点の地山傾斜として、集材路が関係すると推定される非自然斜面の崩壊は集材路の地山傾斜を、自然斜面の崩壊は崩壊源頭部の地山傾斜をそれぞれ求めた。

### 3. 結果

#### 3.1 集材路の実態

調査を行った伐区 63 か所すべてで集材路が開設されており、車両系集材が行われていた。抽出された集材路の総延長は 1236 km であった。集材路密度は全伐区の平均が 361 m/ha、最大の伐区は 635 m/ha、最小の伐区は 199 m/ha と非常に高い値を示した（表-1）。全伐区 63 か所のうち、集材路密度 300 m/ha 以上の伐区が 46 か所で全体の約 70%、400 m/ha 以上の伐区が 17 か所で全体の約 25% 存在し、多くの伐区で超高密に集材路が開設されていた。

図-2 に伐区面積と集材路密度の関係を示した。面積の大小にかかわらず、集材路密度が高いことが分かった。

相関係数は  $r = -0.23$  であり、ほぼ相関は認められなかった ( $p > 0.05$ )。図-3 に伐区の平均傾斜と集材路密度の関係を示した。平均傾斜の値が大きくなる場合でも、高密に集材路が開設されていた。相関係数は  $r = 0.23$  であり、ほぼ相関は認められなかった ( $p > 0.05$ )。従来、急傾斜地で車両系集材を行う場合には、緩傾斜地よりも路網密度を低くする方針が示されてきたが（林野庁 2015）、実際には伐区の平均傾斜の値が大きくなる場合でも高密に集材路を開設する実態があることが明らかになった。

図-4 に集材路延長と  $\mu$  指数（閉回路の数）、図-5 に集材路密度と  $\mu$  指数の関係を示した。 $\mu$  指数は集材路延長と正の相関が認められたが ( $r = 0.56, p < 0.05$ )、

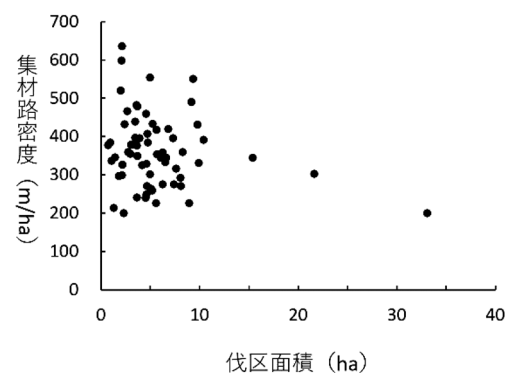


図-2 伐区面積と集材路密度

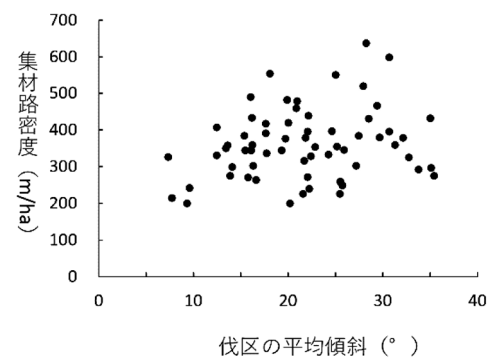


図-3 伐区の平均傾斜と集材路密度

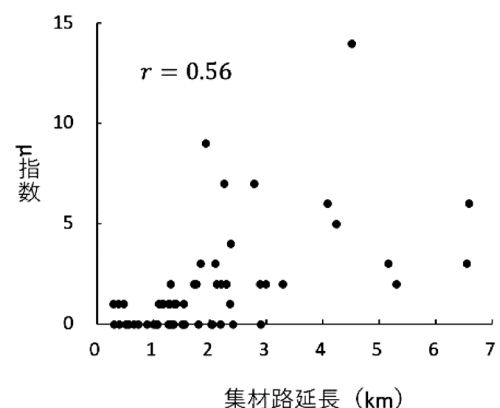


図-4 集材路延長と  $\mu$  指数

集材路密度とはほぼ相関が認められなかった ( $r = 0.25, p < 0.05$ )。このことから、集材路の循環 (閉回路) は、集材路延長が長くなることで自然と発生しやすくなり、循環した集材路を形成するために集材路密度を高くしていないことが示唆された。また、 $\mu$  指数が 0 となる、すなわち完全な樹枝状の集材路が開設されていた伐区は 26 か所であった。なお、集材路に形成されていた閉回路には、全体の接続性に影響を与えない小規模なものが一定数含まれていた。そのため、 $\mu$  指数は集材路の形態的特徴を表すが、必ずしも発達段階を示していないと考えられる。

図-6 に集材路密度と平均集材距離の関係を示した。併せて、(2b) 式で求められる路網密度に応じた平均集材距離の理論的最小値を実線で、(2a) 式で求められる  $V_{corr}$  を変化させた場合の路網密度に応じた平均集材距離を破線で示した。理論式どおり、集材路密度が高くなるにしたがって集材路密度の高まりに対する平均集材距離の低減効果は小さくなった。路網配置係数  $V_{corr}$  は、集材路密度が低い際にはばらつきがあるものの、集材路密度が高くなるにしたがっておおむね 1.2 ~ 1.5 となった。しかしながら、皆伐範囲が小規模な場合や集材路が非常に高密度な場合には、 $V_{corr}$  が大きくなって平均集材距離の絶対値は十分小さいことや、集材路が非常に高密度な場合は偏った配置になり得ないことから、集材路においては  $V_{corr}$  が必ずしも配置の良否を表していないことに注意が必要である。

集材路の幅員は 2.5 m の伐区が 1 か所、3 m の伐区が 29 か所、3.5 m 以上の伐区が 33 か所であった。ほぼすべての伐区で幅員が 3 m 以上あることから、皆伐で使用される機械は 12t クラスのベースマシンが多いことが示唆された (酒井 2009)。

全伐区 63 か所のうち、横断排水溝が設置されていた伐区は 14 か所であった。多くの伐区で路面水の適切な処理が行われていなかった。路面侵食の発生も多く、盛土崩壊地点に路面水が流入していたケースも複数確認された。

盛土崩壊が生じていた伐区は 22 か所であり、すべて

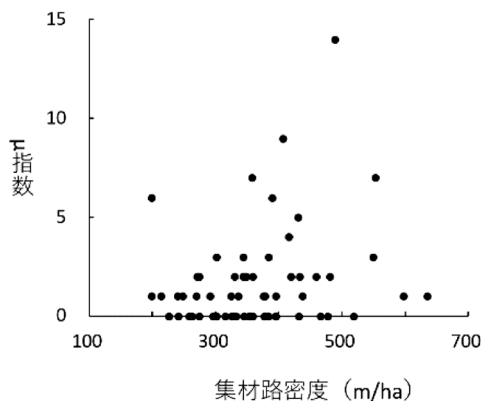


図-5 集材路密度と  $\mu$  指数

の盛土崩壊は 168 か所であった。盛土崩壊が多数発生し、今後の利用が困難であると考えられるケースが存在した。崩壊土砂により林地荒廃が生じていたケースや、崩壊土砂が伐区外に流出していたケースも存在した。

### 3.2 集材方法の推定

図-7 に集材路密度と  $P_{0-20}$  (集材距離 0 m ~ 20 m における集材可能面積が伐区の面積に占める割合)、および  $P_{0-50}$  (集材距離 0 m ~ 50 m における集材可能面積が伐区の面積に占める割合) の関係を示した。全伐区 63 か所のうち  $P_{0-20}$  が 80% 以上となった伐区が 52 か所、 $P_{0-20}$  が 90% 以上となった伐区が 30 か所であった。このことから、皆伐作業で用いられる集材方法としてグラップルによる直接集材が主であることが示唆された。図-7 から集材路密度 350 m/ha で  $P_{0-20}$  はおおむね 90% 程度となる。このことから、集材路密度 350 m/ha で伐区面積のほぼすべてが直接集材可能になると推定された。しかしながら、集材路密度 350 m/ha 以上の伐区も多く存

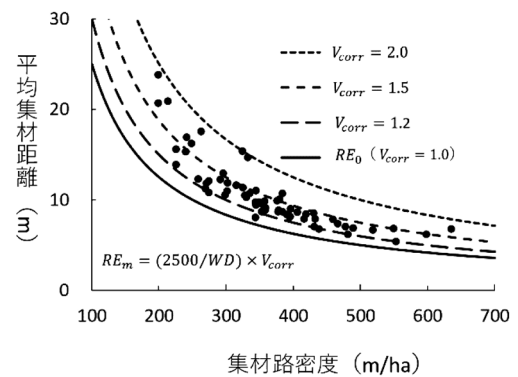


図-6 集材路密度と平均集材距離および路網密度に応じた平均集材距離の理論値

注)  $RE_m$ : 平均集材距離 (m),  $WD$ : 路網密度 (集材路密度) (m/ha),  $V_{corr}$ : 路網配置係数

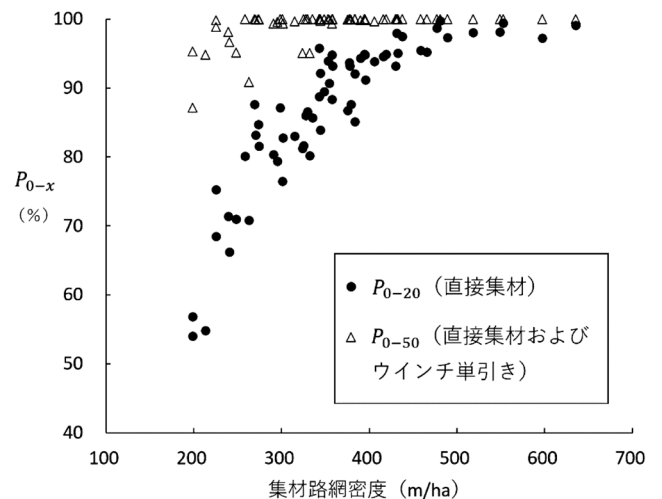


図-7 集材路密度と  $P_{0-20}$  (直接集材)、および  $P_{0-50}$  (直接集材およびウインチ単引きで集材)

在した。P<sub>0.50</sub>は、集材路密度にかかわらず、ほぼすべての伐区で95%以上となり、最低でも87%であった。これはほぼすべての伐区において、その範囲の大部分が集材距離50m以内であることを示している。このことから、車両系皆伐作業においては、伐区の地山傾斜にかかわらずスイングヤードなどの中距離集材可能な方法は導入されず、グラップルによる直接集材またはウインチ単引きでの集材が行われていることが示唆された。

3.3 地山傾斜に応じた盛土崩壊リスク

集材路の総延長123.6kmおよび、すべての盛土崩壊168か所のうち、解像度5mのDEMが存在する範囲の集材路75.4kmおよび盛土崩壊137か所を対象として分析を行った。図-8に地山傾斜に応じた盛土崩壊数および累積相対度数を示した。地山傾斜が大きくなるほど盛土崩壊数が増加した。全体の約7割である95か所が、地山傾斜30°以上の場所で生じていた。図-9に地山傾斜に応じた集材路配置延長および累積相対度数を示した。地山傾斜30°以上の区間が21.4km、35°以上の区間が9.9kmとなり、急傾斜地にも一定量の集材路が開設されていた。図-10に地山傾斜に応じた10m区間損壊率を示した。地山傾斜に比例するように損壊率も上昇していた。特に地山傾斜35°以上の場合に損壊率の値が大きくなった。この結果は、森林作業道の損壊について地山傾斜30°以上で損壊リスクが大きくなるという既往研究とおおむね一致した。一方で、森林作業道の盛土崩壊を対象に算出した10m区間損壊率（生駒ら2020から一部改変）と比較して、集材路の損壊率の値が大きくなった。集材路と森林作業道の損壊率について比率の差の検定（z検定）を行い、その結果も併せて示した。

3.4 集材路崩壊による林地荒廃への影響

崩壊地が抽出された伐区は44か所のうち17か所であった。抽出された崩壊地の個数は125か所であり、そのうち103か所が集材路に関係すると推定される非自然斜面の崩壊（盛土崩壊91か所、切土崩壊12か所）、20か所が自然斜面の崩壊、2か所が林業専用道の盛土崩壊に関係すると推定される崩壊であった。なお、盛土崩壊が生じた場所すべてで明確な土砂流出が生じてはならず、

盛土崩壊数と抽出された崩壊地数は異なる。図-11に区分ごとの崩壊地面積を示した。総崩壊面積は21,841m<sup>2</sup>であり、そのうち約8割の17,427m<sup>2</sup>については、集材路が関係すると推定される非自然斜面の崩壊であった。

図-12に集材路が関係すると推定される非自然斜面

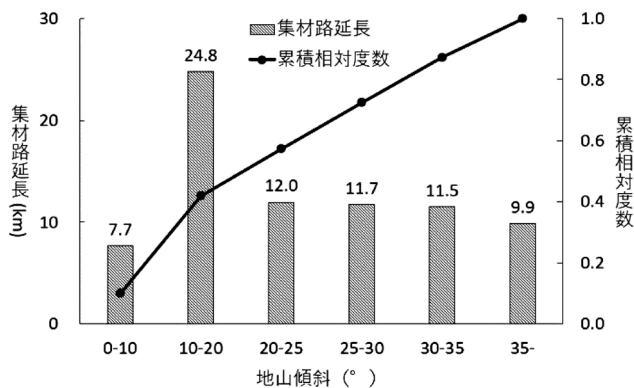


図-9 地山傾斜に応じた集材路配置延長および累積相対度数

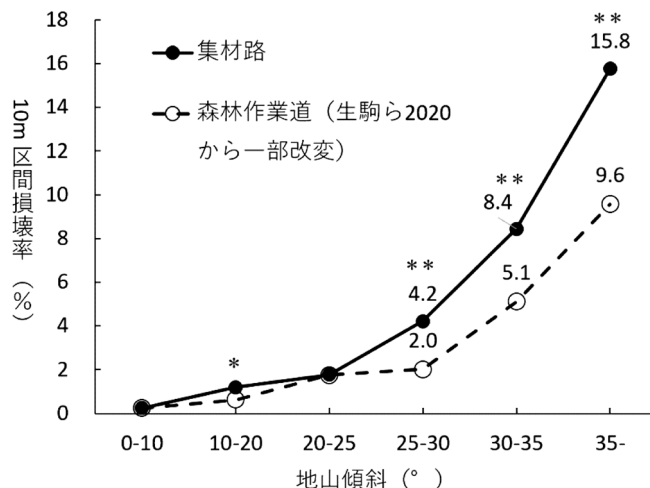


図-10 盛土崩壊を対象とした地山傾斜に応じた集材路および森林作業道の10m区間損壊率  
注) 集材路と森林作業道の損壊率の比率の差の検定 (z検定) において、\* : p<0.05, \*\* : p<0.01

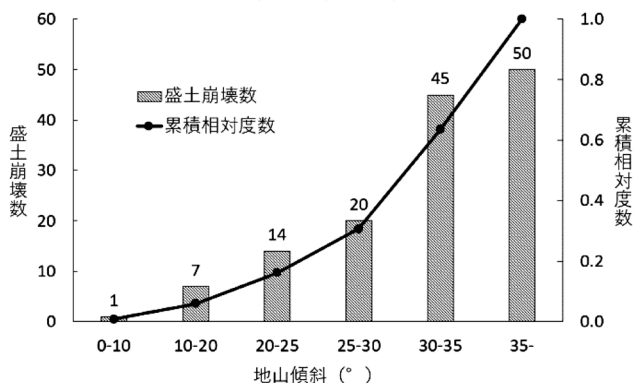


図-8 地山傾斜に応じた盛土崩壊数および累積相対度数

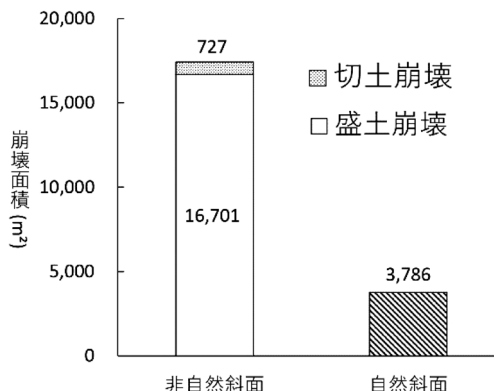


図-11 区分ごとの崩壊地面積

の崩壊における集材路の地山傾斜と崩壊面積の関係、図-13に自然斜面の崩壊における崩壊源頭部の地山傾斜と崩壊面積の関係を示した。集材路が関係すると推定される崩壊、自然斜面の崩壊ともにその多くが地山傾斜30°以上の場所で発生していた。また、集材路の盛土崩壊は地山傾斜が急な場所ほど崩壊面積の大きいものが発生していた。急傾斜地に開設された集材路は盛土崩壊が生じやすいだけでなく、その崩壊が林地荒廃につながりやすいことが示唆された。集材路が関係すると推定される非自然斜面の崩壊は、自然斜面の崩壊がほとんど発生していない地山傾斜30°以下でも発生しており、崩壊面積が比較的大きくなっていたケースもみられた。これらの結果より、集材路の崩壊が林地荒廃の素因となっていることが示唆された。

#### 4. 考察

集材路密度は全伐区の平均が361 m/haであり、非常に高密に開設されていた。(3)式を用いて計算した結果、350 m/haの集材路密度で、伐区面積の90%程度が直接集材可能になると推定された。一方、集材路密度が350 m/ha以上の伐区も多く存在した。350 m/ha以上の集材路開設は、平均集材距離の低減効果が小さく(図-6)、

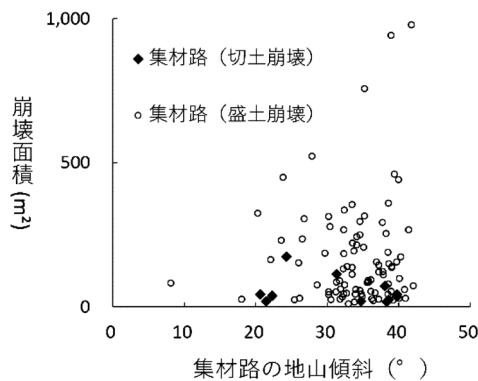


図-12 非自然斜面の崩壊における集材路の地山傾斜と崩壊面積

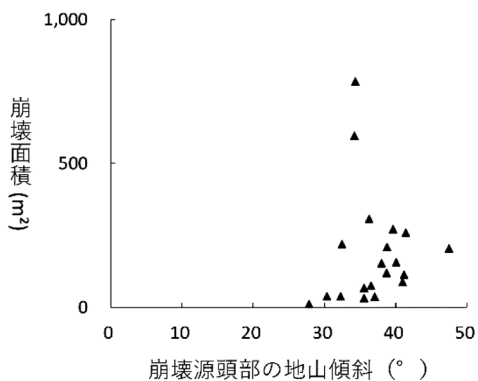


図-13 自然斜面の崩壊における崩壊地源頭部の地山傾斜と崩壊面積

循環路の形成にも寄与していなかった(図-5)。集材路密度は作業の効率や安全性にも影響を与えるため一概には言えないが、350 m/ha以上の集材路開設は、集材方法、集材距離および配置形態の面からみて、効果が小さいと考えられる。これらのことから、多くの伐区で必要以上の集材路が開設されていると考えられた。集材距離などからみて必要以上の集材路であっても、崩壊リスクの低い緩傾斜地であれば問題は少ないが、図-3で示したように伐区の平均傾斜の値が大きい場合でも開設されていた。急傾斜地では盛土崩壊リスクが高く、特に集材路は森林作業道と比較して損壊率の値が大きい(図-10)。また、急傾斜地の盛土崩壊は面積が比較的大きい崩壊につながる場合もあり(図-12)、総崩壊面積の約8割が集材路に關係すると推定される非自然斜面の崩壊であった(図-11)。以上より、地山傾斜にかかわらず作業性を重視して高密に開設された集材路が林地荒廃の素因となっていることが示唆された。また、盛土崩壊が発生していた急傾斜地の集材路では、盛土がすり付かないため、法尻に枝条を置いて盛土を抑えていたケースがよくみられた。森林作業道においては、35°以上の急傾斜地では盛土法尻に丸太組構造物を入れる必要があるとされるが(大橋2001)、経済性が優先される集材路ではそのような構造物を入れることは難しいと考えられる。地質や降雨条件などが異なるため一概には言えないが、35°以上の急傾斜地で集材路の損壊率の値が大きくなった要因には、このような施工の影響もあると考えられる。

#### 5. まとめ

本研究では、皆伐地集材路の実態を明らかにした。集材路密度は全伐区の平均が361 m/haとなり、非常に高密に開設されていた。主な集材方法はグラップルによる直接集材およびウインチ単引きであると推定された。また、集材路密度350 m/haで伐区面積の90%程度の範囲が直接集材可能になると推定された。集材路密度350 m/ha以上に開設が行われていた伐区も多く存在したが、平均集材距離の低減効果も小さく、循環路の形成にも寄与していなかった。350 m/ha以上の集材路開設は、集材方法、集材距離および配置形態の面からみて効果が小さいと考えられる。地山傾斜に応じた定量的な集材路損壊リスクを把握するため、盛土崩壊実態から10 m区間損壊率を算出した。地山傾斜に比例するように損壊率は上昇し、特に地山傾斜35°以上の場合に値が大きくなった。損壊率の値が大きくなる急傾斜地にも一定量の集材路が開設されており、そのような場所で生じた盛土崩壊が林地荒廃につながっていることが示唆された。地山傾斜にかかわらず作業性を重視して高密に開設された集材路は、継続的な利用が困難となる損壊が生じているだけでなく、その損壊が林地荒廃の素因となっていることが示唆された。

今後の皆伐作業について本研究の結果を踏まえると、

緩傾斜地では高密度に集材路を配置し、経済性が確保された作業を行うべきであるが、350 m/ha以上の集材路開設はその効果を十分検討する必要がある。急傾斜地では、崩壊リスクが高い場所に長距離の集材路配置を避けることが林地荒廃リスクを下げるために重要である。また、盛土崩壊はその崩壊土砂が土石流化する場合があり、林地荒廃だけでなく山地災害につながる可能性もある（白澤 2018）。山地災害が生じてしまうと、その地域で持続的に林業を行うことは難しくなる。急傾斜地に従来どおり、高密度な集材路を開設して皆伐を行う場合は相応のリスクがあることを認識し、必ず下流の保全対象の存在、皆伐地からの距離を確認すべきである（多田 2021）。急傾斜地で皆伐を検討する場合は、集材路開設を制限し、架線での集材を基本とするなどの措置も必要になると考えられる。集材路開設などの指針については、近年、皆伐・再造林についてのガイドラインが各種策定されている（林野庁 2020b, 岩手県 2021 など）。しかし、集材路の作設、配置に関して具体的な記述はほぼ存在しない。今後集材路のより詳細な情報を蓄積し、所有者・管理者が集材路に関して適切な指導・監督を行える数量的指針の整備や、作業員に対しては適切な配置・施工を行うための技術的指針を整備することが、誰が皆伐作業を計画・実施しても、経済性と林地荒廃リスクへの配慮が両立可能な林業を行うために極めて重要であると考えられる。

本研究は JSPS 科研費 21K05665 および 21H03672 の助成を受けたものです。

#### 引用文献

- 舟木徹・杉原雅彦（2012）スギ人工林で行われた主伐の作業システムと生産性. 島根中山間セ研報 8 : 129 ~ 132.
- 後藤純一（2008）傾斜地における高密度作業路網を活用した間伐材搬出システムの選択. 機械化林業 658 : 1 ~ 6.
- 生駒直・白澤紘明・齋藤仁志・渡部優・植木達人（2020）森林作業道を対象とした道路損壊の実態把握. 森林利用学会学術研究発表会講演要旨集 27 : 6.
- 井上源基（1987）トラクタ集材路網の配置に関する研究 第1報：トラクタ集材のための地形区分. 林試研報 348 : 47 ~ 108.
- 井上源基（1989）トラクタ集材路網の配置に関する研究 第2報：トラクタ集材のための集材路網計画法. 林試研報 353 : 1 ~ 126.
- 岩手県（2021）伐採・搬出・再造林ガイドライン. オンライン, ([https://www.pref.iwate.jp/\\_res/projects/default\\_project/\\_page\\_/001/039/917/bassaihansyutuguideline.pdf](https://www.pref.iwate.jp/_res/projects/default_project/_page_/001/039/917/bassaihansyutuguideline.pdf)) 2021年8月25日参照.
- 片桐智之（2018）岡山県における車両系作業システムおよび架線系作業システムによる皆伐作業の生産コストの比較. 森利誌 33 (1) : 37 ~ 45.
- 松本武・北川勝弘（2000）山間地域における道路網の配置構造解析と評価指標の検討. 日林誌 82 (2) : 154 ~ 162.
- 大橋慶三郎（2001）大橋慶三郎道づくりのすべて. 159pp, 全国林業改良普及協会, 東京.
- 大橋慶三郎・神崎康一（1989）急傾斜地の路網マニュアル. 173pp, 全国林業改良普及協会, 東京.
- 大矢信次郎・齋藤仁志・城田徹央・大塚 大・宮崎隆行・柳澤信行・小林直樹（2016）長野県の緩傾斜地における車両系伐出作業システムによる伐採・造林一貫作業の生産性. 日林誌 98 (5) : 233 ~ 240.
- 林野庁（2015）路網整備の考え方について. オンライン, (<https://www.rinya.maff.go.jp/j/rinsei/singikai/pdf/15093013.pdf>). 2021年8月25日参照.
- 林野庁（2020a）森林・林業・木材産業をめぐる情勢について. オンライン, (<https://www.rinya.maff.go.jp/j/rinsei/singikai/attach/pdf/201012si-11.pdf>). 2021年8月25日参照.
- 林野庁（2020b）主伐時における伐採・搬出指針. オンライン, (<https://www.rinya.maff.go.jp/j/seibi/sagyoudo/attach/pdf/romousuisin-16.pdf>). 2021年8月25日参照.
- 林野庁（2021）令和2年度森林・林業白書. 159 ~ 160. オンライン, (<https://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/hakusyo/R2hakusyo/attach/pdf/zenbun-64.pdf>). 2021年8月25日参照.
- 酒井秀夫（2004）作業道：理論と環境保全機能. 281pp, 全国林業改良普及協会, 東京.
- 酒井秀夫（2009）作業道ゼミナール：基本技術とプロの技. 77 ~ 78, 全国林業改良普及協会, 東京.
- 白澤紘明（2018）数値地形解析アプリケーション利用手引. 55 ~ 56. オンライン, (<https://www.geospatial.jp/ckan/dataset/e5f59f2f-9434-4070-8aec-ad18770025de/resource/5e28ab11-6b2b-4292-b431-58f0f9fa7a63/download/manualfordemapp.pdf>). 2021年8月25日参照.
- 鈴木保志（2020）第9章 森林作業と路網とのつながり（森林利用学. 吉岡拓如・酒井秀夫・岩岡正博・松本武・山田容三・鈴木保志. 246pp, 丸善出版株式会社, 東京）133 ~ 148.
- 多田泰之（2021）林業と国土保全の両立を目指して（1）—林業技術者のための林地の災害リスクの考え方—. 山林 1640 : 37 ~ 45.
- 白田寿生（2019）周辺環境に配慮した森林作業道の研究. 森林科学 85 : 30 ~ 33.
- 吉村哲彦・齋藤仁志（2021）7.1 崩壊危険度と路線選定（森林土木学第2版. 有賀一広・岩岡正博・齋藤仁志・櫻井倫・鈴木秀典・鈴木保志・長谷川尚史・松本武・矢部和弘・吉岡拓如・吉村哲彦. 189pp, 朝倉書店, 東京）90 ~ 92.