

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 25 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2023

課題番号：19H02986

研究課題名(和文)山腹崩壊後の植生遷移の制限要因の解明と多様な窒素固定植物による植林技術の開発

研究課題名(英文) Determinant of primary succession in post-landslide forests and development of afforestation technique by using nitrogen fixing plant

研究代表者

小林 真 (Kobayashi, Makoto)

北海道大学・北方生物圏フィールド科学センター・准教授

研究者番号：60719798

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,990,000円

研究成果の概要(和文)：将来増加する山腹崩壊跡地の生態系修復の指針を得るため、3つの問いについて検証した。1: 山腹崩壊後の植生回復がどのような環境要因により制限されているのか、2: 植栽による植生回復を行うために、どのようなことに配慮して窒素固定植物を植栽するべきか、3: 山腹崩壊跡地に豪雨が降った際に植栽木はどのような影響を受けるのか。本研究により、1: 天然更新する実生の加入率や成長率を規定しているのは水分ストレスであること、2: 同じ窒素固定植物を植栽した場合であっても、種によって生存率へ影響する立地環境は異なること、山腹崩壊地で豪雨が降ると、幹の材密度や葉の厚さが減少することなどが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

気候変動に伴って今後増加していく山腹崩壊とその跡地の森林。今回のプロジェクトで得られた” どのような山腹跡地が回復しにくいのか、回復しにくい場所に積極的に樹木を植栽する上ではどのような場所にどの樹種を植えるのが効果的か ” という知見は、そうした山腹崩壊跡地をできるだけ速やかに回復させ、森林の近隣にある人々の暮らしを安全なものにし、持続可能な社会を構築していく上で重要となる。また、学術的な意義としては、30箇所という膨大な数の人工山腹崩壊跡地を設定し、崩壊地の環境と樹木のパフォーマンスの関係を網羅的に解析することで、世界で初めて山腹崩壊地の生態系回復指針を立てる上で普遍的な知見を得ることができた。

研究成果の概要(英文) : To obtain the useful information for the restoration after landslides, this project was conducted to answer following three questions. 1: Do which environmental factors regulate the natural recovery of vegetation after landslides? 2: When planting N-fixing plants after landslide, what should we care for? 3: How do the extreme precipitation influence the seedlings planted after landslides? This project clarified, 1: water stress regulate the natural recovery of vegetation after landslides, 2: Even within the N-fixing plants, the suitable habitat for the survival is different among several the post-landslides forests, 3: the extreme precipitation decrease the wood density and leaf thickness of the plants planted after landslides.

研究分野：樹木生態学

キーワード：気候変動 撓乱 生態系修復 窒素固定植物 土壌-植物系 豪雨 野外操作実験 天然更新

## 様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

気候変動にともない極端現象の頻度が増加し、植生への炭素蓄積や生物多様性維持など、森林のもつ重要な生態系サービスは脅威に晒されている。特に我が国は、急峻な地形で海洋性気候であることから、気温上昇にともない降水量が増加し、豪雨に伴う山腹崩壊が頻発すると予想されている。山腹崩壊などの土砂災害は、その発生を人力で防ぐことは困難である。つまり、山腹崩壊の増加による我が国の森林生態系サービスの損失を最小限に止めるには、山腹崩壊後に、森林植生の現存量や生物多様性の回復を制限する要因を特定し、特定した制限要因を早期に解消する技術開発へ向けた知見が不可欠である。

山腹崩壊跡地において、植生の一次遷移の早さに空間的不均一性を生み出す重要な要因として、土壌窒素条件や断続的に続く表層土砂の流出などが知られている。しかし、過去の研究では、複数の環境要因が、植生の現存量や生物多様性の回復を制限する相対的な強さやその状況依存性は、比較可能な系で明らかにされていない。一方、こうした山腹崩壊跡地の植生を積極的に回復させる技術として、窒素固定植物の植栽が広く用いられている。窒素固定植物の植栽は、土壌の窒素量を増やすことで、植栽木のみならず周辺に更新する樹木の成長を促進する上、土壌に根を発達させることによる表層土砂の移動防止が期待できる。一方、窒素固定植物といっても多様な種類が存在する。そのような中で、どのような窒素固定植物を、どのような山腹崩壊跡地へ植栽することが、効率的な生態系修復へつながるかは明らかにされていない。また、重要なこととして、気候変動によって攪乱された生態系に植栽された樹木へも、豪雨などの気候変動が影響すると予想される。しかし、生態系修復を目的として山腹崩壊跡地へ植栽された樹木へ、豪雨が及ぼす影響については不明点が多い。

### 2. 研究の目的

そこで本研究では、さまざまな環境に成立する山腹崩壊跡地において、以下の3つのことを明らかにすることを目的として研究を行なった。① 天然更新する樹木の実生の定着、生存、成長の制限要因を明らかにすること、② 特徴の異なる2つの窒素固定樹種を植栽し、窒素固定植物の特徴と山腹崩壊跡地の立地環境との相性を明らかにすること、③ 山腹崩壊跡地に7種類の特徴の異なる樹種を植栽し(非窒素固定植物)、豪雨処理を与えその影響を明らかにすること

### 3. 研究の方法

全ての研究は、北海道大学北方生物圏フィールド科学センター天塩、中川、雨龍研究林で行った。具体的には、2019年に上層木の多様性、下層植生の多様性、そして土壌条件を調査した上で、上層木を伐採および搬出し、ブルドーザーで地はぎ処理を行った(図1)。地はぎ処理は、30m四方の面積について、合計15箇所を対象におこなった。地はぎを行った土壌の深度は、有機物層、A層の全て、そしてB層の上端から30cmとした。なお、地はぎは、針広混交林の天然林とトドマツの人工林という多様性の大きく異なる2つの土地利用タイプ、堆積岩土壌



図1: ブルドーザーで人為的に山腹崩壊地を設定

と蛇紋岩土壌という2つの土壌タイプの異なる立地において設定された。

窒素固定植物の植栽実験では、2020年に15サイトについて、各サイトの斜度、土砂流出量、土壌窒素量、土壌水分量、気温、日射量、市土壌の粒径などの環境計測を行うとともに、ケヤマハンノキとエゾヤマハギを24本ずつ植栽した。

天然更新の調査については、中川研究林にある3つの山腹崩壊地に焦点を当てて実施した。具体的には、攪乱後に旺盛に天然更新していたトドマツとイタヤカエデの実生について2021年と2022年の2年間にわたり合計27個の3m四方のnプロット内において定着率、生存率、成長率という3つのデモグラフィパラメータを調査した。また、各プロットの近傍に生えている各樹種の実生の地上部および近部の形質を調査することで、山腹崩壊地で更新する実生のデモグラフィパラメータを制限している環境要因を推定した。

豪雨実験でも中川研究林にある3つの山腹崩壊地に焦点を当てて実施した。各サイトに豪雨処理区とともに対照区を設置し、それぞれの条件に7種類の樹種を各6本ずつ植栽し影響を評価した。なお、豪雨処理は、将来予測研究において北海道で今後50年間で頻度が一年あたり一回増加すると予想されている一時間あたり50mm/hの強度の雨を一時間降らせる処理を、2022年と2023年に人工散水装置を用いて行なった(図3)。影響評価は、植物の形質の変化を指標として行なった。

#### 4. 研究成果

窒素固定植物の植栽実験においては、同じ窒素固定植物であっても、ヤマハギとケヤマハンノキでは、ケヤマハンノキの方が山腹崩壊跡地の生存率が高いことがわかった(図2)。また、2種間で生存率へ影響する立地環境は異なり、ヤマハギへは土壌の母岩の違いが、ケヤマハンノキへは崩壊地の斜度、土壌の粒径、土壌含水率が影響を及ぼしていた。興味深かった

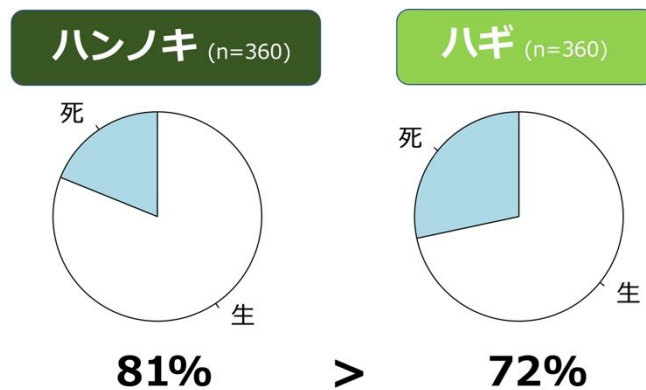


図2: 植栽したケヤマハンノキ(ハンノキ)とヤマハギ(ハギ)の生存率

のは、ケヤマハンノキの生存が、斜度が急な立地で生存率が高かったことである。急傾斜地へ植栽したケヤマハンノキが高い生存率を示したことについては、近年増加しているエゾシカによる食害が急傾斜地では起きにくいことが関係していることが考えられた。

天然更新の調査では、トドマツおよびイタヤカエデの実生の根の乾物重量の高い場所で実生の移入率が高いこと、根の乾物重量とともに葉の乾物重量が高い場所で実生の成長率が高いことが明らかになった。一方、生存率については今回調べた機能形質で関係するものは見からなかった。根および葉の乾物重量が高いことは乾燥耐性の高さなどにつながるということが知られている。また、山腹崩壊跡地の起こった斜面では、直射日光が当たる、斜面であるために水捌けが良いなどの理由から植物に乾燥ストレスがかかりやすいことが予想される。本研究の結果から、乾燥耐性を獲得することが実生の移入率の高さや、成長量の高さにつながることを示唆された。一方、生存率については、今回の調査では評価しきれていない形質と関係している、あるいは、確率論的に起こる落石、土砂移動などによって決定されている可能性が考えられた。

豪雨実験では、豪雨処理を行うことで、実生の幹の材密度、葉の厚さが減少する種が存在することなどが明らかになった。幹の材密度や葉の厚さの低下は、乾燥ストレスや土砂流出への脆弱性につながる考えられる。今後、単発的であっても豪雨の頻度が増加すると、その後乾燥した日が続いた際などにストレスを受けやすくなっていることや、山腹崩壊跡地へ更新した実生が流出土砂によって枯死するケースが増加することが考えられる。

一連の成果によって、山腹崩壊跡地における天然更新あるいは人為的な植栽による植生回復を行う際に制限要因となる条件が整理され、今後、豪雨の増加にともなって増加していくであろう山腹崩壊跡地の効率的な生態系修復に不可欠な知見を得ることができた。



図3: 人工降雨実験の様子

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Furusawa Jumpei, Makoto Kobayashi, Utsumi Shunsuke	4. 巻 13
2. 論文標題 A large scale field experiment of artificially caused landslides with replications revealed the response of the ground dwelling beetle community to landslides	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Ecology and Evolution	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/ece3.9939	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する
1. 著者名 Makoto Kobayashi, Utsumi Shunsuke, Zeng Ruiqi, Mamiya Wataru, Miyazaki Tohru, Okuyama Tomohiro, Tanaka Fumiya, Yamada Takashi, Yoshida Toshiya	4. 巻 554
2. 論文標題 Which native legume or non-legume nitrogen-fixing tree is more efficient in restoring post-landslide forests along an environmental gradient?	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Forest Ecology and Management	6. 最初と最後の頁 121672 ~ 121672
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.foreco.2023.121672	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 Zeng Ruiqi, Makoto Kobayashi	4. 巻 14
2. 論文標題 Is the Fine Root Tensile Strength Predictable from Structural and Morphological Traits across Mycorrhizal Types in Cool-Temperate Woody Species?	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Forests	6. 最初と最後の頁 1542 ~ 1542
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/f14081542	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Makoto Kobayashi, Kitagawa Ryo, Blume-Werry Gesche	4. 巻 142
2. 論文標題 How do leaf functional traits and age influence the maximum rooting depth of trees?	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 European Journal of Forest Research	6. 最初と最後の頁 1197 ~ 1206
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s10342-023-01585-6	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 該当する

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 Makoto Kobayashi
2. 発表標題 Towards an enhanced use of nitrogen fixing trees for the restoration after landslides
3. 学会等名 第70回日本生態学会（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 古澤惇平, 小林真, 内海俊介
2. 発表標題 山腹崩壊が起きたとき徘徊性昆虫はどう応答するのか？大規模野外実験で明らかにする
3. 学会等名 第70回日本生態学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小林 真・内海俊介・山田 孝・曾 瑞琪・門脇浩明・吉田俊也
2. 発表標題 山腹崩壊跡地で成長がよい窒素固定植物の特性と立地条件の検証
3. 学会等名 第133回日本森林学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 河上智也・片山 昇・西澤啓太・小林勇太・鈴木紅葉・森 章・小林 真
2. 発表標題 地表かき起こし施業からの経過年数に伴うミミズ群集の回復と団粒発達
3. 学会等名 第133回日本森林学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 古澤惇平・小林真・内海俊介
2. 発表標題 山腹崩壊は徘徊性昆虫群集をガラリと変える？～大規模実験による検証～
3. 学会等名 日本生態学会第69回全国大会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 小林真 (分担執筆)	4. 発行年 2023年
2. 出版社 共立出版	5. 総ページ数 280
3. 書名 木本植物の被食防衛: 変動環境下でゆらぐ植食者との関係	

〔産業財産権〕

〔その他〕

MAKOTO'S PLANT & SOIL LAB. <a href="https://makoto-plant-soil.weebly.com">https://makoto-plant-soil.weebly.com</a>
---

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	内海 俊介  (Utsumi Shunsuke)  (10642019)	北海道大学・地球環境科学研究院・教授   (10101)	

6. 研究組織（つづき）

	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	山田 孝  (Yamada Takashi)  (20333635)	北海道大学・農学研究院・教授    (10101)	
研究分担者	吉田 俊也  (Yoshida Toshiya)  (60312401)	北海道大学・北方生物圏フィールド科学センター・教授    (10101)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計1件

国際研究集会 第70回日本生態学会シンポジウム 山腹崩壊と生態系修復：より良いNature-based solutionを目指して	開催年 2023年～2023年
--	--------------------

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------