

平成 30 年 6 月 13 日現在

機関番号：82105

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2013～2017

課題番号：25252030

研究課題名(和文)人工林の保残伐がもたらす生態系サービスを大規模実証実験で明らかにする

研究課題名(英文)Evaluating ecosystem services from retention forestry in planted forests from a large-scale experiment

研究代表者

尾崎 研一(OZAKI, KENICHI)

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：50343794

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 35,000,000円

研究成果の概要(和文)：人工林で有効な保残伐施業を開発するための大規模実証実験において、保残伐による生態系サービス(水土保持サービス、虫害抑制サービス、山菜の供給サービス)の変化を調べた。水土保持サービスについては、年流出率と窒素流出原単位の伐採による増加は伐採1年後には保残量に応じて低減した。虫害抑制サービスについては、実験区にダミーイモ虫を設置して鳥類による捕食率を調べた結果、鳥類密度と食痕率の間に相関はみられなかった。また、トドマツ鉢植えに寄生させたトドマツオオアブラムシの増加率は随伴アリ種によって異なった。山菜の供給サービスについては、伐採による山菜の生育状況の把握と山菜利用者の利用動態の経済評価を行った。

研究成果の概要(英文)：We evaluated the effects of retention harvesting on ecosystem services such as water and soil conservation, insect damage control and edible wild plants provision in a large-scale retention forestry experiment in fir plantations in Japan. For water and soil conservation services, water discharge and nitrogen runoff one year after harvest were affected by retention levels of broad-leaved trees in each experimental plot. For services to protect insect damage, avian predation on artificial caterpillars did not correlate with small bird density. Also, growth rate of todo-fir aphids (*Cinara todocola*) on fir seedlings differed with ant species that attended colonies of todo-fir aphids. For the provision of edible wild plants, we determined the change in the abundance of these plants after harvest and estimated the economic value of these wild plants.

研究分野：森林昆虫 生物多様性保全 森林生態

キーワード：保残伐 生態系サービス 人工林 長期実験

1. 研究開始当初の背景

(1)近年、木材生産と生物多様性の両立をめざす森林管理法として、保残伐 (retention harvesting) が世界的に導入されている。保残伐は、生物の生息に重要な構造や要素を残して伐採を行うことにより、生物多様性や生態系サービス (生態系が人間にもたらす利益) を損なわないように森林を管理することを目標としている。この方法は従来の択伐や漸伐に比べて、伐る木よりも残す木を優先的に選ぶという発想の転換と、残すものは永続的に残す点で大きく異なっている。

(2)保残伐の導入に伴い、その効果を検証するための大規模実験が世界各地で行われている。しかし、これらはいずれも天然林を対象としたもので、人工林で行われたものはない。また、木材生産以外の生態系サービスはほとんど調べられていない。そのため、保残伐が水土保持サービス等に与える影響を明らかにすることが急務である。

2. 研究の目的

日本では 1,000 万 ha の人工林が主伐期を迎え、国産材の有効活用を図るために、木材生産と生物多様性を両立させる伐採方法の開発が必要になっている。そこで我々は北海道有林の協力を得て、人工林で有効な保残伐施業を開発するための大規模実証実験「トドマツ人工林における保残伐施業の実証実験 (略称 REFRESH)」を 2013 年に開始した。本研究の目的は、この長期間の実験のうち、伐採による変化が最も顕著に現れる伐採前後の 5 年間に於いて、保残伐による生態系サービス (水土保持サービス、虫害抑制サービス、山菜の供給サービス) の変化を明らかにすることである。

3. 研究の方法

(1)北海道・芦別市周辺の北海道有林 (約 6 千 ha) において、50 年生以上のトドマツ人工林と広葉樹天然林に面積 5 ~ 9 ha の実験区を設け、以下の 8 つの処理を 3 セット設置した。このうちの 7 つの実験区は集水域全体に設定したため、水土保持機能が調査可能である。

- 1.人工林皆伐
- 2.広葉樹単木少量保残 (人工林内の広葉樹林冠木を約 10 本/ha 保残して残りを伐採)
- 3.広葉樹単木中量保残 (人工林内の広葉樹林冠木を約 50 本/ha 保残して残りを伐採)
- 4.広葉樹単木大量保残 (人工林内の広葉樹林冠木を約 100 本/ha 保残して残りを伐採)
- 5.群状保残 (人工林の中央に 0.36ha の保残パッチを保残して残りを皆伐)
- 6.小面積皆伐 (1ha の小面積皆伐により、トドマツ人工林の 1/3 を伐採)
- 7.広葉樹天然林 (非伐採対照区)
- 8.トドマツ人工林 (非伐採対照区)

2013 年から伐採前調査を行った後、伐採は

2014 年から 1 セットずつ 3 年かけて行った。伐採後は、通常の人工林同様に地拵え、トドマツの植栽、下刈りを行った。

(2) 水土保持サービス

水質・水量調査：調査林分内の溪流で平水時に月 1 回、夏～秋の増水時に年 1、2 回採水を行い、得られた試料の無機イオンと溶存態炭素を分析した。また、調査流域に三角流量堰を設置し、水位の連続観測と採水日ごとの流量観測を行い、流域ごとの水文特性を把握した。以上の結果より保残伐が水質や水量の変化に及ぼす影響を明らかにした。

底質・底生動物調査：調査林分内の溪流で 10 月下旬 (落葉期) にメッシュネットを箱状にした底質サンプラーを設置し、底生動物と底質 (底性有機物) を採集した。得られたサンプルより保残伐が底生動物と底性有機物に及ぼす影響を明らかにした。

(3) 虫害抑制サービス

マイマイガ：各実験区において繁殖期の鳥類群集を調査した。マイマイガを含む鱗翅目幼虫を模した粘土製イモムシを伐採後の実験区に設置し、捕食痕の頻度を調べた。以上の結果より、保残伐による鳥類群集の変化が、植食性昆虫への捕食圧を介して虫害抑制サービスに及ぼす影響を検証した。

トドマツオオアブラムシ：各実験区において捕食者等の昆虫類の季節変動を調査した。伐採後の林分に本種の寄生したトドマツ鉢植えを設置し、その後のトドマツオオアブラムシの個体数、アリによる随伴、多食性捕食者による捕食の経時的な調査を行った。以上の結果より、保残伐による随伴アリ類の変化が害虫であるトドマツオオアブラムシの密度に及ぼす影響を検証した。

(4) 山菜の供給サービス

伐採が行われた実験区に設置した 20×20 m の調査区において、主要な山菜であるタラノキ及びウド (調査区内に設定した 5×5 m の方形区のみ) の伐採に伴う攪乱後の生育状況を調査した。利用者数計測機材を用いて、山菜採り利用者の動態把握を行うとともに、現地においてアンケートを実施した。また、山菜採集時期における地元直売所での山菜の価格を調査した。以上の結果より山菜供給サービスを経済的に評価するとともに、保残方法や保残率がタラノキやウド等の供給量に及ぼす影響を検証した。

4. 研究成果

(1) 水土保持サービス

水質・水量調査

2015 年伐採 (第 2 セット) の 3 流域 (皆伐、大量保残、中量保残) および対照 (非伐採) 流域 (流域面積 10ha 前後) における施業前

後の流量・水質データから、(a)年流出率(1年間の降水量に対する流量の割合)、(b)窒素流出原単位(単位面積あたり1年間に流出した窒素の量)、(c)微細土流出原単位(単位面積あたり夏期6か月間に流出した微細土の量)各々の伐採前後の変化率を算出し、対照区の値と比較した。なお、(a)、(b)は7月1日を1年の始まりとし年間の観測値を用いて算出したため、本報告では、伐採前に対する伐採当年(2015年7月1日~2016年6月30日)と、伐採1年後(2016年7月1日~2017年6月30日)までの結果について報告する。(c)は夏期出水時の観測値のみを用いて算出したため、伐採2年後(2017年6~10月)までの結果も含めて報告する。

(a)の年流出率、(b)の窒素流出原単位についてみると、伐採当年は保残の有無、程度にかかわらず伐採流域で同程度、増加していた(図-1、図-2)。それが伐採後1年経つといずれも保残量に応じて低減する傾向を示し、とくに窒素の流出については大量保残区における減少傾向が顕著であった。一方、(c)微細土流出(濁りの発生)については、伐採当年は保残量との関係は不明瞭であった。これは大量保残区において採水地点近傍に敷設された作業道(沢を横断)からの微細土流入を反映したもので、これまでもよく言われてきたポイントソース(点源負荷)としての作業道の性質をあらためて示す形となった。但しその影響は伐採当年のみで、伐採2年後には作業道からの流出は抑制され、微細土流出量も減少していた(図-3)。

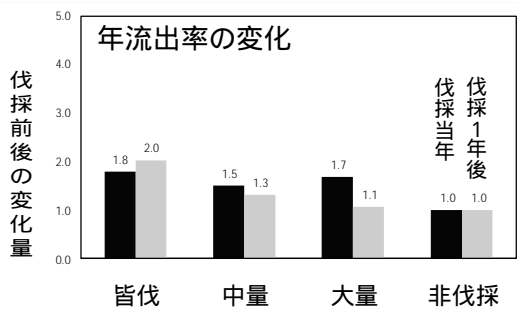


図-1 年流出率の伐採前後の変化
対照区(非伐採)の値を1として比較した。

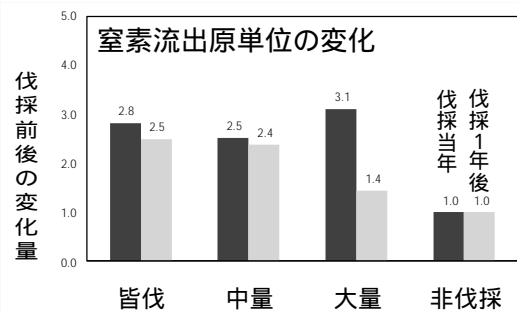


図-2 窒素流出原単位の伐採前後の変化
対照区(非伐採)の値を1として比較した。

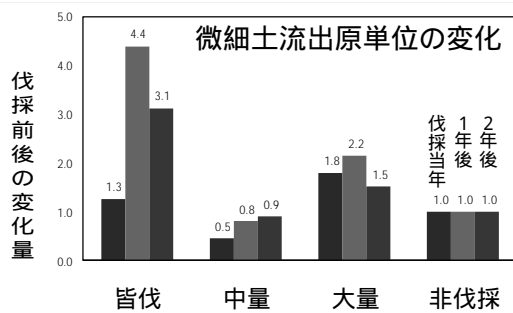


図-3 微細土流出原単位の伐採前後の変化
対照区(非伐採)の値を1として比較した。

底質・底生動物調査

流域面積5~10haのトドマツ人工林10流域を調査地として設定し、伐採前データ取得を目的として2013年10月に調査を行った。対象流域の伐採は2015年5~8月に実施され、伐採当年、翌年、2年後の各10月に伐採後調査を実施した。採集された底生動物は可能な限り同定し、個体数を計測した。底質は土砂量、有機物量を定量し、伐採前後の計4か年分のデータをまとめてnMDS(非計量多次元尺度構成法)による解析を行った。

その結果、伐採前後に共通して、サンプラーを埋設した場所は(a)細粒有機物量が顕著に多い場所、(b)粗砂・細砂が顕著に多い場所、(c)流速が早い場所、(d)礫の隙間が多い場所の4つのタイプの底質環境に分けられ、流域ごと、年ごとに4タイプの環境の出現割合が変化していた。また、(a)ではフタスジモンカゲロウ、(b)はコカゲロウ属、(c)はコエグリトビケラ属、(d)は端脚目エゾヨコエビ、がそれぞれ標徴種として抽出され、それぞれの環境をよく反映していた。

伐採前後の変化が大きかったのは、皆伐および小量保残流域であった。伐採当年と翌年の夏期、時間雨量20mm超の大雨によって河床が攪乱され、その結果、河床に厚く堆積していた細粒有機物や土砂が洗い出され、底質タイプが(a)、(b)主体の環境から(d)主体の環境へとシフトし、底生動物相も変化した。一方、大量保残流域では調査区間の上流で重機が沢を横断し林床の表土を流出させたため、細粒有機物の堆積量が増加し、(c)、(d)主体の環境から(a)主体の環境へとシフトし、その傾向は伐採翌年まで継続していた。

以上をまとめると、保残量の違いは、降雨時の直接流出量の違いと河床攪乱の程度に反映され、保残本数が少なかった皆伐および小量保残流域においてその影響が顕著だと考えられた。但し、河畔域の地表攪乱を伴った場合には、広葉樹保残の多寡に拘わらず、底生動物の生息環境に影響を及ぼしうることも示唆された。

(2) 虫害抑制サービス

マイマイガ

鳥類の半数以上は食虫性であり、鳥類による捕食が昆虫の個体数を抑制していること

が知られている。保残伐により生息する鳥類が増加し、増加した鳥類による食葉性昆虫への捕食圧が増加することが予想される。主要な食葉性害虫の1群としてマイマイガ幼虫などの鱗翅目幼虫が挙げられる。そこで、固まらない粘土で作成したイモムシ（以下、ダミーイモムシ）を各実験区に植栽されたトドマツに設置し、ダミーイモムシに残った鳥の食痕を捕食圧の指標とした。その食痕率と鳥類生息密度との関係を調べた。なお、ダミーイモムシに残った食痕は小鳥サイズのくちばし痕であったので、鳥類密度には大型の鳥は含めなかった。

その結果、鳥類生息密度は保残本数の多い単木大量保残区、単木中量保残区、小面積皆伐区では、予想通り高くなった。しかし鳥類密度とダミーイモムシの食痕率との関係は明らかな正の相関を示さなかった（図-4）。鳥類をハビタット選好性から、開放地性と森林性に分けて分析しても鳥類生息密度とダミーイモムシの食痕率は正の関係を示さなかった。このように害虫抑制サービスに対する保残の効果ははっきりしなかった。この結果は、同じ実験区でも年次間の食痕率が大きくばらついたことに起因しているようであった。例えば、第1セット大量単木保残区では、食痕率が5%、0.8%、10.1%というように大きく年次間で変化した。このように、各実験区の食痕率は年次間でばらつきが大きかったが、平均の食痕率は、6.1%~7.7%と安定していた。

一方で皆伐区と保残方法が同じ単木保残区だけで鳥類による食痕率を比較すると皆伐区と単木大量保残区が単木中量保残区や単木小量保残区より食痕率が高かった。このことは、皆伐区では開放地性の鳥が、単木大量保残区では森林性の鳥が捕食者として重要な役割を果たしている可能性を示唆しているかもしれない。

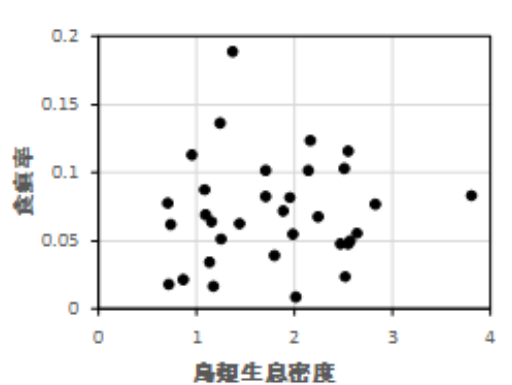


図-4 大型の鳥類を除いた鳥類生息密度とダミーイモムシ食痕率の関係

トドマツオオアブラムシ

トドマツオオアブラムシ（以下アブラムシ）はトドマツ幼齢木に寄生する害虫で、主にトビイロケアリ（以下ケアリ）やハラクシケアリ隠蔽種群（以下クシケ）に随伴される。また、ケアリは皆伐地で、クシケは広葉樹林で、それぞれアブラムシに多く随伴することが知られている。ケアリはアブラムシのコロニーを土壁で覆うため、好適な環境条件の創出や捕食圧の低下をもたらすことにより、アブラムシ個体数の増加を促進することが示唆される。従って、伐採の際に広葉樹を保残した場合は、皆伐した場合と比較して、ケアリによる随伴が減少し、アブラムシ個体数の増加は抑制されることが予想される。

実験では、伐採後1年目の各実験区と広葉樹天然林に50~100個体のアブラムシを寄生させたトドマツ鉢植え苗を10株ずつ設置し、1か月後にアブラムシ個体数と随伴アリの種を株ごとに記録した。その結果、随伴アリについては、植栽した苗の90%以上にアブラムシが定着し、かつアリが随伴していた。伐採した実験区ではケアリが優占し（56-73%）、クシケがこれに次いだ（13-27%）ものの、処理の間でアリの種構成に顕著な違いは見られなかった。天然林でもケアリが優占したが、その割合は他の処理区より小さく（50%）、クシケの割合は他の処理区より大きかった（37%）。この結果は予想と矛盾しないものの、顕著な違いは見られなかった。また、昆虫用ゼリーを用いたベイトトラップ採集を行い、林分ごとのアリ相を把握した結果と同様であった。アリ種間での環境選好性の違いはあるようだが、時間的な変動や場所の違いによって、それが隠されたのかもしれない。

次にアブラムシ個体数については、ケアリが随伴した苗では、クシケが随伴した苗とアリの随伴がない苗よりも、アブラムシが有意に増加した（図-5、2way ANOVA、Holm法による多重比較）。この点では仮説が支持され、クシケによる随伴は虫害抑制効果があることが示された。しかし、苗ごとのアブラムシ個体数の増減は処理間で有意差がなく、伐採の有無や保残量がアブラムシの個体数の増減に影響を及ぼす証拠は見出せなかった。なお、随伴アリの種によりアブラムシ個体数が変化する効果を除外するため、ケアリ随伴株のみについて同様の検定を行った場合でも、やはり処理間での違いは検出されなかった。保残量にともなう虫害抑制効果に違いが見られなかったのは、上記で示したアリ相の違いが処理の間で予想より小さかったためと考えられる。

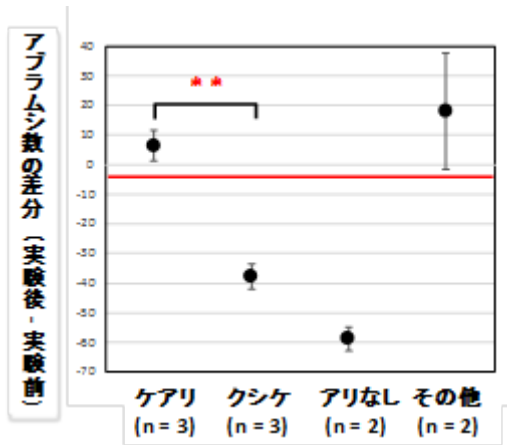


図-5 随伴アリとアブラムシ個体数増減

(3) 山菜の供給サービス

伐採前の人工林内では、タラノキ（胸高直径 1cm 以上）が 0.0012 本/ m²、ウド（高さ 1.5m 以上）が 0.0188 本/ m² 生育していた。これらは過去の間伐にともなう攪乱地に生育するものが多かった。

伐採後の人工林ではトドマツが植栽され、面積の 7 割程度が刈り払いされており、刈り残された部分のみでタラノキとウドを調査した。

伐採から 3 年が経過した第 1 セット実験区において、タラノキは実験区ごとに 0~1.3 本/ m²、ウドは 0~0.07 本/ m² となり、多くの実験区で増加したが、実験区間で大きな違いがあった（図-6）。伐採前の密度、伐採の時期等にも違いがあり、保残伐の効果を検証するには、今後第 2 セット、第 3 セットでも調査を行い、そのデータも踏まえて検討する必要がある。

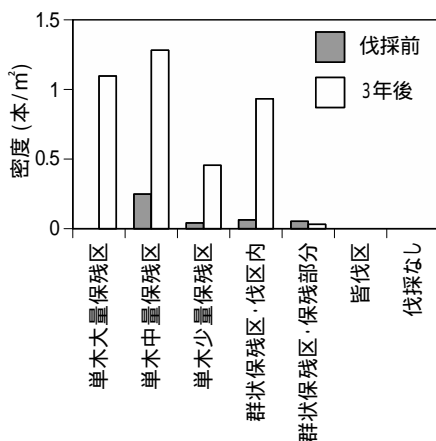


図-6 伐採前と伐採 3 年後のタラノキ（胸高直径 1cm 以上）の密度

山菜の供給という森林のもつ生態系サービスがどれだけの価値を生み出しているのかを把握するためには、山菜利用者の利用実態を把握することが必要である。そこでセンサーカメラを林道入口に設置することにより、山域の山菜利用者の利用動態を把握した。

センサーカメラに記録された 2015 年度の利用一般車数（出林）は 1,841 台、2016 年は 1,879 台であった。利用者数はそれぞれ 64 人と 107 人であった。一般車に平均 2 人乗車し、年間 3,700 人日が 5kg 山菜を採取（チシマザサ）したと仮定すると、近隣直売所でのチシマザサの販売価格 1kg 当たり 1,000 円を考慮して、調査地域全体で年間 1,900 万円もの直接利用価値が発生していると評価された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 16 件)

Yamaura Y, Akashi N, Unno A, Tsushima T, Nagasaka A, Nagasaka Y, Ozaki K (2018) Retention Experiment for Plantation Forestry in Sorachi, Hokkaido (REFRESH): a large-scale experiment for retaining broad-leaved trees in conifer plantations. Bulletin of Forestry and Forest Products Research Institute 17: 91-109. 査読有

明石信廣・対馬俊之・雲野明・長坂晶子・長坂有・大野泰之・新田紀敏・渡辺一郎・南野一博・山田健四・石濱宣夫・滝谷美香・津田高明・竹内史郎・石塚航・福地稔・山浦悠一・尾崎研一・弘中豊・稻荷尚記 (2017) トドマツ人工林における保残伐施業の実証実験 (REFRESH) における実験区の伐採前の林分組成. 北海道林業試験場研究報告 54: 31-45. 査読無

〔学会発表〕(計 39 件)

Ozaki K, Yamaura Y, Akashi N, Unno A, Tsushima T, Nagasaka Y, Nagasaka A, Inari N, Sayama K, Sato S. (2016) Evaluating the effect of retention forestry in planted forests. IUFRO regional congress for Asia and Oceania, 234-235 (発表年月: 2016.10)

Akashi, N., Nitta, N. and Ohno, Y. (2016) *Abies sachalinensis* planted forests are important habitats for understory plants. The 15th International Conference on Ecology and Silviculture of Fir, Sapporo (発表年月: 2016.9)

〔図書〕(計 1 件)

尾崎研一 (2015) 林業の特性と生物の多様性. (日本生態学会 編) 人間活動と生態系, 127-148. 共立出版, 東京

〔その他〕

トドマツ人工林の保残伐施業の実証実験のページ

<http://www.pref.hokkaido.lg.jp/sr/dyr/REFRESH/top.htm>

トドマツ人工林における保残伐施業の実証実験

<http://www.ffpri-hkd.affrc.go.jp/group/konc>

hu/refresh/indexflame.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

尾崎 研一 (OZAKI, Kenichi)
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：50343794

(2) 研究分担者

雲野 明 (UNNO, Akira)
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・主査
研究者番号：20414245

山浦 悠一 (YAMAURA, Yuichi)
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：20580947

明石 信廣 (AKASHI, Nobuhiro)
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
研究者番号：40414239

庄子 康 (SHOJI, Yasushi)
北海道大学・農学研究院・准教授
研究者番号：60399988

長坂 有 (NAGASAKA, Yu)
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・主任主査
研究者番号：80414267

長坂 晶子 (NAGASAKA, Akiko)
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
研究者番号：70414266

中村 太士 (NAKAMURA, Futoshi)
北海道大学・(連合)農学研究科(研究院)・教授
研究者番号：90172436
(平成26年度の研究分担者)

佐藤 重穂 (SATO, Shigeho)
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：10353707
(平成28年度より研究分担者)

(3) 連携研究者

佐山 勝彦 (SAYAMA, Katsuhiko)
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：70353711

中村 太士 (NAKAMURA, Futoshi)
北海道大学・(連合)農学研究科(研究院)・教授
研究者番号：90172436
(平成25年度の連携研究者)

山中 聡 (YAMANAKA, Satoshi)
国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林総合研究所・研究員
研究者番号：10804966
(平成29年度の連携研究者)

(4) 研究協力者

稲荷 尚記 (INARI, Naoki)
弘中 豊 (HIRONAKA, Yutaka)